



Mémoire

présenté par

MARLIAC Gaëlle

Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement

Mention ERM

Spécialité « De l'Agronomie à l'Agroécologie »

Impact de la disponibilité et de l'attractivité de la ressource sur les populations *d'Helicoverpa zea* cas d'étude : la tomate et le maïs

Pour l'obtention du diplôme de Master Sciences et Technologies du Vivant et de
l'Environnement

Mention ERM

Spécialité « De l'Agronomie à l'Agroécologie »

Enseignant responsable du stage : ROGER-ESTRADE Jean

Maître de stage : RHINO Béatrice

Soutenu le 30 juin 2011

Engagement de non plagiat

① Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

② Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

③ Sanction : En cas de manquement à ces consignes, le département SIAFEE se réserve le droit d'exiger la réécriture du document, dans ce cas la validation de l'Unité d'Enseignement ou du diplôme de fin d'études sera suspendue.

④ Engagement :

Je soussigné (e) _____
Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A _____ le _____
Signature :

Remerciements

Cette page est dédiée à toutes les personnes qui m'ont permis de réaliser ce stage dans les meilleures conditions.

Mes remerciements vont tout d'abord à Béatrice Rhino qui m'a encadré tout au long de ce stage. Je la remercie pour son soutien, nos discussions tout au long du stage, le temps qu'elle m'a consacré pour l'élaboration de ce mémoire ;

A Jean Roger-Estrade, mon tuteur qui a été présent tout au long de ce stage. Je le remercie pour son soutien dans l'apprentissage de la recherche en agronomie et tous ces conseils et remarques qui m'ont permis de finaliser ce mémoire.

A Thierry Doré, responsable du Master II « De l'Agronomie à Agroécologie », pour sa confiance tout au long de ses deux années passées à AgroParisTech. Je le remercie pour sa réactivité, son enseignement au cours duquel il a su nous transmettre ses connaissances et sa passion pour la recherche.

A Pierre-François Duyck et Philippe Tixier pour leur aide lors du traitement statistique des données.

Ces travaux de recherche n'auraient été possible sans la précieuse aide de Catherine Thibault et Alain Pelage. Merci à eux pour le travail effectué sur le terrain, le partage de leurs connaissances et de leurs expériences durant ce stage.

Enfin je souhaite remercier toutes les autres personnes que j'ai côtoyées de près ou de loin tout au long de mon stage.

Résumé

La noctuelle de la tomate (*Helicoverpa zea*) est l'un des ravageurs majeurs des cultures de tomate en Martinique. Des méthodes de lutte alternative doivent être développées, l'exemple choisi ici est l'introduction de diversité fonctionnelle via l'implantation d'une culture piège de maïs.

L'objectif de l'étude consiste à évaluer le niveau de captures de mâles de *H.zea* comme indicateur de la population présente en fonction de la disponibilité de plantes hôtes attractives (soies fraîches / fleurs de tomate) et l'infestation des parcelles de tomate par *H.zea* en fonction de la présence/absence de bordures de maïs attractive et de la distance des parcelles de tomates à la bordure.

Le dispositif est composé de trois parcelles : une première parcelle de tomate avec une bordure de maïs, une deuxième parcelle de tomate à 70 mètres et une troisième parcelle de tomate à plus de 100 mètres. Un piège à phéromone est présent dans chacune des parcelles. Les observations sur la bordure et sur les parcelles de tomate se font sur les œufs et les chenilles.

Compte tenu des conditions climatiques, les populations mâles et l'infestation de la bordure et des parcelles ont été relativement faibles. Les résultats montrent cependant (i) que les captures de mâles sont dépendantes de la couverture du sol à proximité du piège ; (ii) que la bordure a un impact sur l'infestation de la parcelle adjacente.

Ces résultats confirment que le système de culture piège constitue une alternative au contrôle chimique des bioagresseurs des cultures de tomates mais qu'une gestion précise est nécessaire.

Mots clés : *Helicoverpa zea* ; *Solanum lycopersicum* ; *Zea mays* ; Plante piège ; contrôle biologique.

Abstract

The tomato moth (*Helicoverpa zea*) is a major pest of tomato crops in Martinique. Alternative control methods must be developed, the example here is the introduction of functional diversity through the establishment of a maize trap crop.

The aim of the study is to assess the level of catches of male *H.zea*, as an indicator of the population, is based on the availability of attractive host plants (fresh silks / tomato flowers) and the infestation of plots tomato *H.zea* depending on the presence / absence of maize borders attractive and distance plots of tomatoes to the trap crop.

The device consists of three tomato plots: one with a border of corn, a second at 70 meters and a third over 100 meters. A pheromone trap is present in each plot. Observations on the trap crop and the tomato plots are eggs and caterpillars.

Given the climatic conditions, populations and male infestation of the border and the plots were relatively small. The results show however that (i) catches of males are dependent on land cover near the pheromone trap, (ii) that the border has an impact on the infestation of the adjacent parcel.

These results confirm that the trap crop system is an alternative to chemical control of pests of tomato crops but a precise management is required.

Keywords : *Helicoverpa zea*, *Solanum lycopersicum*, *Zea mays*, Trap plant, biological control

Sommaire

Remerciements	3
Résumé	4
Abstract	4
Introduction	6
Revue bibliographique	7
I. La bioécologie de la noctuelle de la tomate <i>Helicoverpa zea</i>	7
1. Le cycle et la dynamique des populations.....	7
2. Le comportement alimentaire.....	8
3. Le comportement de ponte	8
II. Les méthodes de lutte alternatives	10
Problématique.....	12
Matériel et méthodes	14
I. Le matériel.....	14
1. Les végétaux.....	14
2. Le dispositif expérimental	14
II. Méthodes	16
1. Les observations	16
a. La phénologie	16
b. <i>Helicoverpa zea</i>	17
2. Analyse statistique.....	17
Résultats	19
1. La phénologie de la bordure de plantes pièges et des parcelles de tomate	19
2. La dynamique des populations adultes mâles piégées	19
3. L'infestation des cultures par <i>H. zea</i>	22
a. Infestation de la bordure de maïs.....	23
b. L'infestation des parcelles de tomate	23
c. Comparaison de l'infestation de la parcelle 1 avant et après bordure de maïs.....	25
d. Comparaison de l'infestation de la parcelle 1 suivant l'âge de la plantation ..	25
Discussion	26
Conclusion.....	30
Bibliographie	31
Annexes	34

Introduction

Les surfaces dédiées au maraîchage en Martinique connaissent une forte diminution ces dernières années en raison notamment d'une importante pression parasitaire (elles représentaient 9% de la SAU en 2007 et seulement 7% en 2008, soit 2.450 ha). La culture de tomate (300 ha en 2009) n'échappe pas à cette tendance, avec une perte importante des rendements causés par un complexe de bioagresseurs : le flétrissement bactérien (i.e. maladie tellurique due à la bactérie *Ralstonia Solanacearum* en période humide), la noctuelle de la tomate *Helicoverpa zea* et l'aleurode *Bemisia tabaci*, vecteur de viroses (TYLC Tomato yellow leaf curl virus par exemple) en période sèche. *H. zea* peut causer des pertes de rendement de l'ordre de 10 à 20% (données issues d'essais). La gestion de ces insectes ravageurs se fait via des moyens de lutte classiques qui présentent aujourd'hui des limites en raison des nombreux problèmes de gestion des seuils d'application, des résistances développées par l'insecte et des problèmes environnementaux et sanitaires.

La culture de tomate générant une forte valeur ajoutée, les maraichers souhaiteraient disposer de solutions alternatives pour la gestion de ces bioagresseurs.

Les résultats décrits dans ce mémoire s'insèrent dans la thématique de recherche de la structure d'accueil, le PRAM (Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique) et tout particulièrement de l'UR Hortsys du CIRAD (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles). Cette thématique a pour but l'«utilisation de la diversité fonctionnelle pour réguler les ravageurs aériens» pour une agriculture martiniquaise durable via la conception de nouveaux systèmes de culture limitant l'emploi des pesticides.

Cette thématique de recherche est aussi mise en avant dans le projet OMEGA3 (Optimisation des Mécanismes Ecologiques de Gestion des bioAgresseurs pour une Amélioration durable de la productivité des Agrosystèmes) pour étudier, à travers plusieurs cas d'étude, les possibilités et les conséquences d'une rupture du système conventionnel en introduisant une diversité végétale spécifique (DSV).

Plusieurs tâches ont été définies pour ce projet. Ce stage s'inscrit dans la tâche 2 : *Gestion des bio-agresseurs aériens au niveau de la parcelle et de son environnement immédiat à partir du principe de détournement stimulo-dissuasif et de ses extensions* et plus particulièrement la sous tâche 2.1 : *Optimisation de l'agencement spatial et de la phénologie de plantes-pièges pour la régulation des populations et dégâts des noctuelles de la tomate en systèmes horticoles à la Martinique et au Niger.* (<http://omega3.cirad.fr/>)

Revue bibliographique

I. La bioécologie de la noctuelle de la tomate *Helicoverpa zea*

Ordre : Lepidoptera, **Famille:** Noctuidae, **Genre:** *Helicoverpa*

La noctuelle de la tomate, (*H. zea*) est présente dans toute la Caraïbe et sur le continent américain. Les dégâts sont causés par les larves qui se nourrissent des fruits des différentes plantes hôtes.

H. zea est un bioagresseur majeur à plusieurs titres :

- C'est un insecte hautement polyphage (80 espèces) dont les cultures hôtes principales sont le maïs, le sorgho, le coton, le soja, le tournesol, la tomate, le tabac (Fitt, 1989) mais on le retrouve aussi sur des espèces adventices : *Panicum dichotomiflorum* Michx., *Cannabis sativa* (Capinera, 2001 ; Storer, 2003).

- Il est hautement mobile. Des vols passifs sur de très longue distance (migration) sont mentionnés. Son vol actif lui permet de parcourir 2 à 3 km par jour (entre 17h et 3h) (Kennedy & Storer, 2000) si les conditions climatiques et environnementales ne sont pas satisfaisantes pour son développement et sa survie (vol longue distance). De plus, on observe des mouvements importants dans/entre les cultures et avec les espaces non cultivés dans un rayon de 100m (vol courte distance) (Fitt, 1989).

- La femelle est très féconde et peut déposer de 500 à 3.000 œufs par ponte. Le dépôt des œufs se fait sur différentes structures végétales selon l'espèce. Sur la tomate, elle dépose les œufs sur les feuilles, indifféremment sur la partie inférieure ou supérieure (Rodriguez, 1982), du premier tiers supérieur de la plante avec une concentration sur les feuilles autour des bouquets floraux. Sur le maïs, la femelle pond sur les soies fraîches (Rector et al., 2002).

1. Le cycle et la dynamique des populations

Les œufs éclosent 3 à 4 jours après leur dépôt. Ils sont particulièrement vulnérables avec une mortalité naturelle forte, supérieure à 90% (Sansone and Smith, 2001, Pustejovsky and Smith, 2006). De plus, ils sont soumis à de nombreuses pressions du niveau trophique supérieur (les ennemis naturels): *Trichogramma sp* avec un taux de parasitisme variable selon les auteurs et les régions ; *Orius insidiosus* avec un taux de prédation de 4 à 13%) et une coccinelle *Coleomegilla maculata* (Sansone and Smith, 2001 ; Pfannenstiel, 2002).

Après éclosion, les larves se développent en 6 stades, pendant 16 jours. Le développement des trois premiers stades se fait en 7 à 8 jours. Les larves sont soumises aux mêmes pressions de sélection que les œufs (i.e. mortalité naturelle, parasitisme, prédation). S'ajoute à cela une régulation via le niveau inférieur (la source d'alimentation). Elliger et al., 1981 ont montré qu'il existait des inhibiteurs de croissance sur les feuilles de tomate, en particulier sur les trichomes (i.e. poils à la surface de la feuille) : les acylglucoses, acide chlorogénique, rutine, tomatine (Juvik et al., 1994 ; Stamp et al, 1993). Guo et al., 1999 ont montré que les taux de maysin et d'apimaysin (C-glycosyl flavone) présents dans les soies du maïs affectent aussi leur développement.

A partir du stade 4, les larves sont cannibales (Capinera, J. L., 2007), le développement des stades 4 à 6 en 7 à 8 jours est donc fortement dépendant de ce comportement. En effet, les larves sont particulièrement fragiles lors de la mue et les larves les plus âgées mangent les plus jeunes. (Dial and Adler, 1990).

Le dernier stade larvaire migre dans le sol avant la nymphose. Si les températures ne sont pas adéquates pour leur développement, les pupes peuvent entrer en diapause dans le sol : diapause hivernale pour des températures inférieures à 12,6°C et diapause estivale pour des températures supérieures à 33,3°C. Sinon les chenilles entrent en nymphose pendant 13 jours (en conditions optimales) jusqu'à l'émergence de l'adulte.

L'adulte peut vivre de 5 à 15 jours (jusqu'à 30 jours en conditions optimales). La période de ponte peut débuter 3 jours après l'émergence et dure jusqu'à la mort (Fitt, 1989).

2. Le comportement alimentaire

Le choix de la plante hôte par la femelle se fait en tant que lieu d'alimentation pour elle-même (disponibilité en nectar) et pour sa descendance afin de maximiser leur survie et leur fitness (Lui et al., 2010).

L'adulte se nourrit donc du nectar des plantes hôtes. Le choix de la plante hôte se fait grâce aux différents signaux émis par celle-ci et perceptibles par l'insecte. Renwick, 1994 et Honda, 1995 avancent que les caractères physiques tels que la couleur et la forme des feuilles et la hauteur des plants jouent un rôle sur le choix de la plante hôte. Toutefois, Firempong et al. (1990) ont montré que la hauteur de la plante ne jouait pas sur l'ordre d'attractivité des plantes. Les métabolites secondaires émis par les plantes, à certains stades phénologiques, vont permettre la localisation de la plante hôte (Srinivasan, 2006). La dispersion des odeurs se fait par patch d'odeur, la chance de détecter ces composés diminue avec l'augmentation de la distance à la source et est fonction des turbulences de l'air (Bernays and Chapman). *H. zea* est, par exemple, attirée par un complexe de Phenylacetaldehyde et de Butano émis par les soies du maïs (Cantelo et Jacobson, 1998) et par le 2-phenylethanol et le phenylacetaldehyde émis par la tomate (Firempong et al., 1990).

De nombreuses études montrent que le stade floraison est le stade qui attire le plus les insectes. Cela peut s'expliquer par l'émission de composés attractifs par les fleurs mais aussi par la disponibilité en nectar pour les femelles et par la présence de tissus fructifères de la plante pour la future nutrition des larves (Diongue, 2004 ; Liu, 2010). En effet, les premiers stades larvaires (1 à 3) se nourrissent sur la feuille, avant de migrer dans les tissus fructifères de la plante. Les stades 3 à 6 se nourrissent des fruits. Ils n'en consomment qu'une partie avant de s'attaquer à un autre fruit, ce qui entraîne une baisse du rendement commercial. (Nault et Speese, 2002 ; Torres-Vila et al., 2003 ; Purcell et al., 1992). Torres-Vila et al., 2003 ont montré que les dommages les plus importants étaient visibles sur les fruits verts.

3. Le comportement de ponte

La femelle *H. zea* pond où elle se nourrit. D'autres signaux entrent alors en jeu. L'insecte appréhende les signaux mécaniques de la plante : la chimie et la texture de la surface foliaire. Il a été montré que les papillons préféraient une surface de feuille poilue ou rugueuse pour assurer un maintien lors de la ponte et pour retenir les œufs déposés (Renwick, 1994). C'est notamment le cas du maïs et du coton pour *H. zea* (Firempong, 1990).

Le comportement de ponte est également influencé par des facteurs génétiques et non génétiques (histoire de l'insecte). Ces facteurs internes, reflétant l'état physiologique de la femelle (e.g. temps depuis la dernière ponte), affectent son comportement. (Jallow et al., 2004).

De plus, des stimulants et dissuasifs de ponte ont été mis en évidence, il s'agit de complexes, spécifiques pour chaque espèce d'insecte, de composés secondaires non volatils produits par la plante. Sur la tomate, deux acides carboxyliques sesquiterpènes sont identifiés comme étant des stimulants de ponte *H. zea* (Honda 1995). Pour le maïs, l'éthylène émis par soies du maïs a été identifié comme induisant la reproduction chez les femelles d'*H. zea* (Raina et al, 1992).

En outre, la proportion d'œufs déposés est aussi influencée par les modalités de l'itinéraire technique. Firempong et al. (1990) ont montré qu'une culture fertilisée de maïs présente plus d'œufs qu'une culture sans apport de fertilisant, ce qui peut s'expliquer par une meilleure croissance de la plante et une émission de composés attractifs plus importante.

La localisation et la conformité de la plante hôte sont appréciées selon une balance entre les signaux entrants sensoriels positifs et les entrants négatifs. Un phénomène d'apprentissage dans la recherche de l'hôte, chez les insectes est décrit par certains auteurs (Cunningham et al., 1999). Une reconnaissance des signaux visuels et olfactifs associés à une localisation réussie est réalisée. En effet, si l'insecte a une 1^{ère} expérience avec une plante hôte donnée, l'introduction d'une nouvelle plante hôte plus attractive n'affectera que peu ou pas du tout son choix. L'adulte reconnaît la culture la plus présente dans son périmètre ; elle devient alors sa culture hôte préférentielle, même si une autre culture plus attractive mais minoritaire est présente. Jallow et al., 2004 a décrit ce phénomène pour *Helicoverpa armigera*.

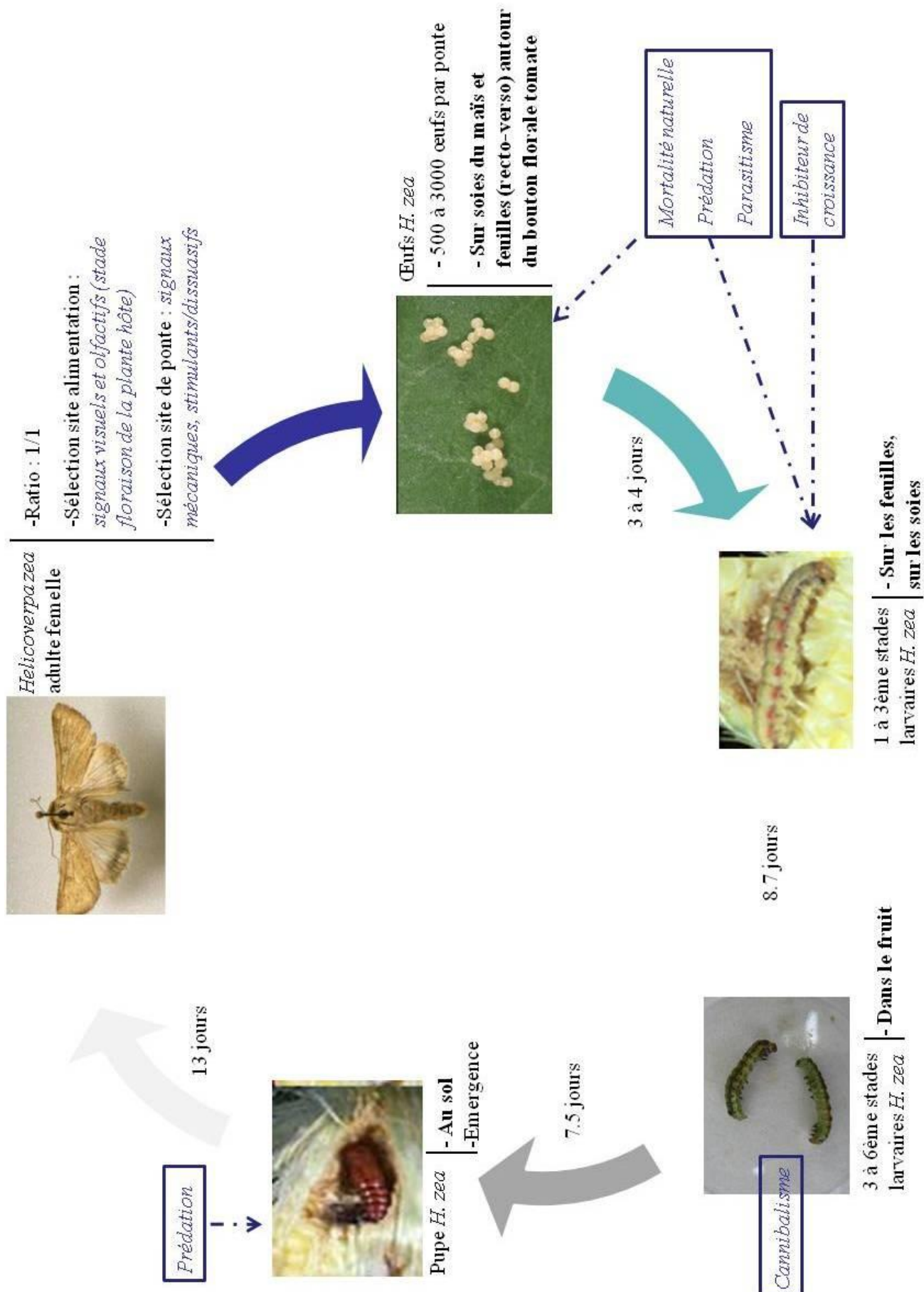


Figure 1 : Relation entre le développement de *H. zea* et celui de la plante hôte ; exemple du maïs et de la tomate.

La figure 1 reprend le cycle de développement d'*H. zea*, indiquant les caractéristiques biologiques et écologiques qui l'influencent. A partir du stade pupa, ce développement n'est plus dépendant de la plante hôte. En outre, à partir du 3^{ème} stade larvaire, la larve migre dans le fruit, elle devient donc inaccessible et les dégâts sont déjà présents. Il est donc nécessaire d'agir sur les premiers stades de développement pour une protection efficace des cultures. La prise en compte de la biologie de l'insecte, des plantes-hôtes, de la relation insecte-plantes hôtes, mais aussi des mécanismes écologiques sera un gage de succès des nouvelles méthodes de lutte.

II. Les méthodes de lutte alternatives

La protection intégrée (IPM : Integrated Pest Management) est un « système de lutte contre les organismes nuisibles qui utilise un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois économiques, écologiques et toxicologiques, en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance » (OILB/SROP, 1973). Ce concept de protection a, entre autres objectifs le développement de la lutte biologique, basée sur les connaissances en écologie des bioagresseurs (ici les insectes) et des cultures. Dans ce domaine, la plupart des mesures mises en œuvre sur le terrain sont dites « par inondation » (i.e. introduction en masse d'agents auxiliaires). Cependant, d'autres possibilités sont aujourd'hui envisagées et regroupées sous le terme de « gestion agroécologique des bioagresseurs » ou « lutte biologique par la conservation et la gestion des habitats ». Seule la méthode faisant intervenir l'utilisation de plantes pièges sera développée ici.

Plusieurs mécanismes écologiques sont mis en jeux dans ce type de dispositif :

- l'effet « bottom-up » : régulation par le niveau trophique inférieur, les ressources. Décrit par Root (1973) comme l'hypothèse de la concentration des ressources (Resource Concentration Hypothesis), il peut entraîner une perturbation dans la localisation des sites d'alimentation et de ponte de l'insecte.
- l'effet « top-down » : régulation par le niveau trophique supérieur, les ravageurs sont supprimés par leurs ennemis naturels. Ce niveau de régulation est favorisé par la conservation de l'agrosystème. C'est l'hypothèse des ennemis naturels : « enemies hypothesis » décrit par Root (1973).

Les plantes pièges sont des plantes hôtes du bioagresseur cible (dont on veut protéger la culture principale) disposées à l'extérieur de la culture principale pour leurrer l'insecte. Elles attirent, détournent, interceptent et/ou concentrent les bioagresseurs dans une partie spécifique du champ dans le but de réduire les dommages économiques sur la culture principale (Shelton and Badenes-Perez, 2006). L'effet « push-pull » (décrit par Pyke et al. 1987 et repris par Cook et al. 2007) entre alors en jeu : les stimuli (visuels ou chimiques) des plantes de service attractifs (pull) attirent les ravageurs vers la culture piège alors que les répulsifs (push) masquent la présence de la plante hôte. Le bioagresseur est ensuite éliminé soit par application d'insecticide sur ces patches, soit par destruction des patches, soit par son « non développement » sur la plante à cause des inhibiteurs de croissance présents sur la plante, soit, enfin, par la présence d'auxiliaires sur la plante.

Le fonctionnement de ces cultures nécessite donc des connaissances sur l'écologie de l'insecte telles que le comportement de migration, le comportement de recherche de l'hôte en tant que ressource ou site de ponte, sur les plantes hôtes, le milieu et de leurs interactions (Jallow et al., 2003).

Pour mettre en place ce service, il est nécessaire de :

- choisir l'**espèce piège**. Elle doit : être plus attractive pour l'insecte cible, en tant que lieu d'alimentation et de ponte, que la culture principale ; être présente dans le paysage agricole pour être « reconnue » par les insectes (phénomène d'apprentissage) ; présenter un faible taux de survie pour la descendance (« effet dead-end » Shelton et Nault, 2004).
- définir les **caractéristiques de l'itinéraire technique**. La surface et la densité de culture piège à mettre en place doivent être définies de telle sorte que la proportion de culture piège par rapport à la culture commerciale soit égale à 10% (Hokkanen, 1991).

La date d'implantation doit être pensée de façon à ce que le stade floraison (stade le plus attractif en majorité) coïncide avec le stade sensible de la culture commerciale pour maximiser l'efficacité par rapport à l'insecte cible. D'autres caractéristiques biotiques et abiotiques doivent être prises en compte : l'apport d'engrais, l'irrigation, la présence d'ennemis naturels du ravageur considéré, le climat (Kennedy & Storer, 2000 ; Parajulee et al., 2004).

Plusieurs travaux ont souligné le succès des cultures pièges sur la gestion d'*Helicoverpa*. Hussain et al., 2007, par exemple, montrent que la présence d'œillet en culture piège dans une parcelle de tomate peut diminuer la population de noctuelles.

Cependant, un certain nombre de limites de ces méthodes peuvent être soulignées :

1. Il faut mobiliser un nombre important de connaissances pour mettre en place ce type de système.
2. Le risque économique peut être important en comparaison du coût des traitements phytosanitaires.
3. Enfin, les cultures sont souvent soumises à un complexe de bioagresseurs. (Shelton and Badenes-Peres, 2006).

Problématique

Les travaux de l'équipe dans laquelle se déroule ce stage, ont conduit à retenir comme culture-piège une bordure de maïs implantée à proximité de la parcelle de tomate. Ce choix est motivé par :

- une attractivité du maïs plus importante que celle de la culture de tomate pour *H. zea*.
- un faible taux de survie de la descendance, dû à la présence de maysin et d'apimaysin dans les soies du maïs.
- une culture présente en Martinique mais peu cultivée aujourd'hui. L'implantation et la destruction de cette culture ne représente donc pas un obstacle majeur pour les agriculteurs compte tenu de sa faible importance économique.

Un rapport précédent (Metty Trebeau, 2010) visait à évaluer l'impact d'une bordure de maïs sur les populations d'*H. zea* sur une culture de tomate. Dans ce rapport, il a été montré:

- une forte infestation de la bordure de maïs (360 chenilles sur 120m²) et une faible infestation de celle de tomate (60 œufs dont 15 parasités et aucune chenille observée sur 1200m²).
- une attractivité du maïs maximale lors de l'émission des soies.
- une infestation de la parcelle de tomate plus importante dans les lignes adjacentes à la bordure de maïs et un effet a priori jusqu'à 50m (longueur de parcelle expérimentale).
- mais la distance d'influence n'a pas pu être précisée et pas de comparaison possible entre niveau de population *H. zea* sur tomate sous influence du maïs ou sans influence.

Afin d'affiner le dispositif, des résultats complémentaires sont nécessaires. Par exemple, l'absence de parcelle témoin de tomate (parcelle tomate sans bordure de maïs) ou d'implantation de tomate à une distance supérieure à la distance d'influence du maïs (au moins 50m) ne permettait pas d'évaluer l'impact de la bordure de maïs sur l'infestation de la culture de tomate. Avant l'introduction d'une telle innovation, il s'avère indispensable de s'assurer que la bordure de maïs n'entraîne pas un « effet puits d'infestation » pour la culture de tomate. De plus, il est nécessaire de connaître la distance d'influence de la bordure de maïs, dans le but d'optimiser la distribution spatiale d'un tel aménagement (bordure sur chaque parcelle, patch sur îlot de culture,...).

Les hypothèses posées dans cette étude sont donc :

- que la bordure de maïs assure une réduction du niveau d'infestation sur la population et l'infestation de *H. zea* présente sur la parcelle de tomate ;
- la bordure de maïs n'est pas un puits d'infestation pour la population de *H. zea* ;
- que la distance d'influence de la bordure de maïs sur l'infestation de *H. zea*, est inférieure à 100 mètres et supérieure à 50 mètres.

Pour tester ces hypothèses, 3 parcelles ont été implantées : une première parcelle de tomate avec une bordure de maïs, une deuxième parcelle de tomate à 70 mètres et une troisième parcelle de tomate à plus de 100 mètres. Un piège à phéromone a été installé dans chacune des parcelles.

Les **objectifs** de l'étude sont d'évaluer :

- le niveau de capture de mâles de *H. zea*, indicateur de la population présente, en fonction de la disponibilité de plantes hôtes attractives (soies fraîches / fleurs de tomate)
- l'infestation des parcelles de tomate par *H. zea* en fonction de la présence/absence de bordure de maïs attractive et de leurs distances à la bordure

Figure 2 : Evolution du dispositif expérimental

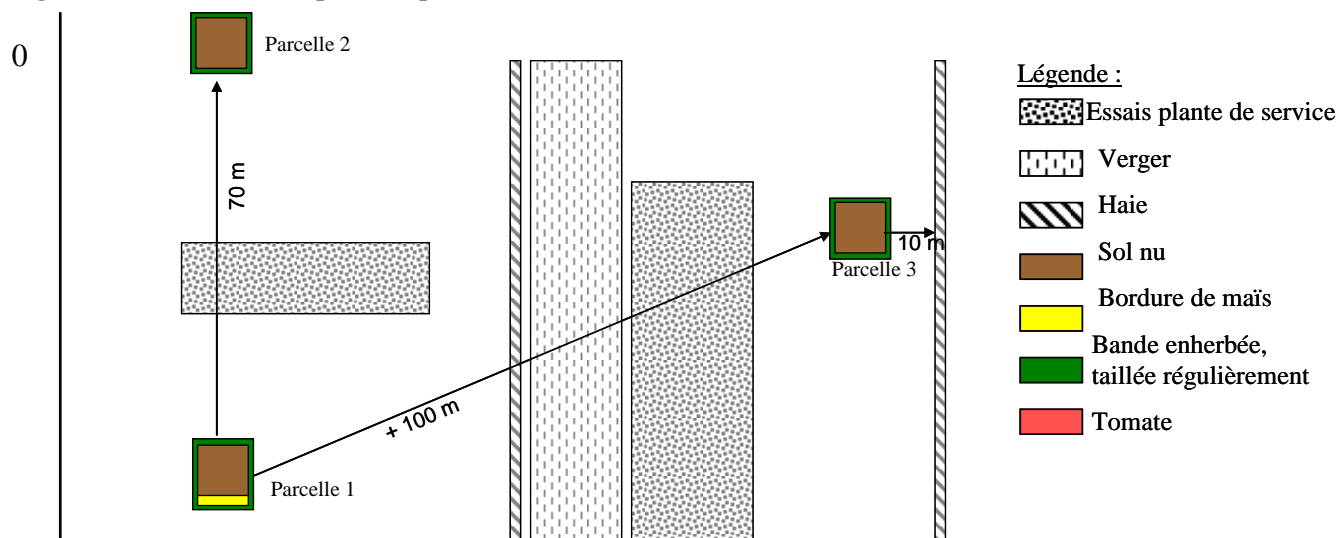


Figure 2a : Implantation bordure de maïs

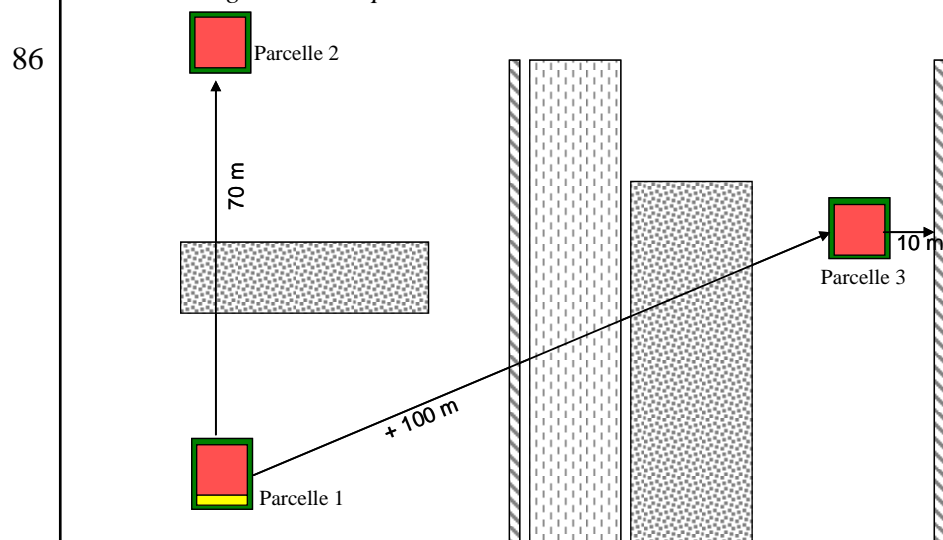


Figure 2b : Implantation parcelles de tomate

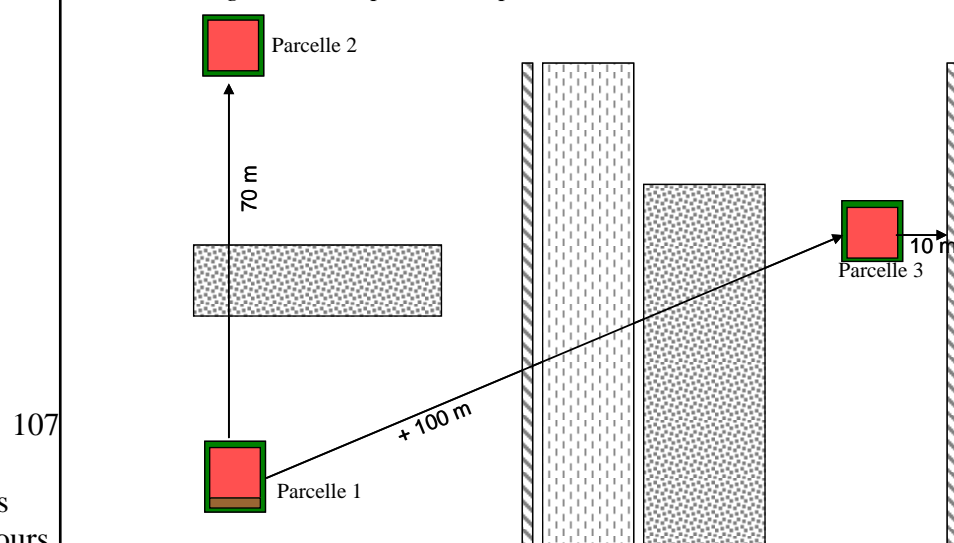


Figure 2c : Destruction de la bordure de maïs

Echelle des
temps en jours
après le semis

Matériel et méthodes

Un essai en plein champ a été mis en place sur la station expérimentale du CIRAD à Rivière Lézarde sur la commune de Saint-Joseph en Martinique (14°39'N, 60°58'W), le 19 janvier 2011.

I. Le matériel

1. Les végétaux

La variété de tomate qui a été utilisée est la variété Heat Master, variété à croissance semi-déterminée. Cette variété a été choisie car elle est adaptée aux climats tropicaux et cultivée par les agriculteurs martiniquais pour ses gros fruits. Elle est plantée 21 jours après le semis. Deux semis ont été réalisés en pépinière (04/03/2011 et le 23/03/2011), suivis d'un repiquage en pots et en alvéoles (respectivement le 18/03/2011 et 05/04/2011) avant plantation dans les parcelles. La tomate a fleuri 44 jours après semis, pendant 30 jours.

La variété de maïs qui a été utilisée est la variété de maïs doux Java. Le choix s'est orienté vers une variété de maïs doux car l'ensemble des essais (phénologie, dynamique d'infestation, essai bordure) a été réalisé avec des variétés de maïs doux. C'est une variété au cycle semis-tardif, qui fleurit 68 jours après semis, pendant 10 jours. C'est une variété rustique, avec des plants vigoureux et adaptés aux climats tropicaux. Elle peut présenter un à plusieurs épis par plant. Sa taille varie de 1.80m à 2m.

2. Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (Figure 2) est composé de 3 parcelles (parcelle 1, 2,3) d'une largeur 8.80 mètres et longueur de 8 mètres. La bordure de maïs a été implantée sur la parcelle 1 sur une largeur de 2 mètres et une longueur de 10 mètres.

Dans l'essai précédant (Metty Trebeau, 2010), l'impact de la bordure avait été démontré jusqu'à 50 mètres de la bordure. Les parcelles 2 et 3 ont donc été placées à des distances à la bordure de respectivement 70 mètres et plus de 100 mètres de la parcelle 1. Ce choix a été raisonné en fonction de la capacité de vol d'*H.zea* (déplacement dans un rayon de 100 mètres) et pour rester dans un environnement homogène.

Pour tester les hypothèses, trois périodes sont nécessaires pour réaliser les observations. Les périodes sont maïs seul avec les soies visibles, tomate en floraison associée à la bordure de maïs avec les soies visibles et tomate seule en floraison.

Les parcelles diffèrent par leur composition spécifique et leur disposition temporelle. Le zoom d'une parcelle est présenté à l'annexe B (Photo1). Le dispositif est décrit selon son évolution au cours du temps:

- *Temps 1 (fig2a): implantation d'une bordure de maïs avec plusieurs semis successifs* (ligne 1 le 19/01/2011, ligne 2 le 02/02/2011, ligne 3 le 09/02/2011, ligne 4 le 16/02/2011). La bordure est implantée sur la parcelle 1, sur une largeur de 2 mètres et sur une longueur de 10 mètres. Les lignes sont semées en continu puis éclaircies et recourées pour obtenir un espace inter-rangs de 40 cm et un espace intra-ligne de 20 cm, soit 10 plants/m². Compte tenu des problèmes rencontrés, un raticide et un anti-fourmis ont été appliqués lors du semis.

- *Temps 2 : (fig 2b) : plantation de la tomate*, 5 et 8 semaines après l'implantation de la bordure (soit respectivement le 24/03/2011 et le 14/04/2011). Le semis a été effectué en pépinière, sous serre. Les plants étaient âgés de 21 jours à la plantation. Celle-ci s'est effectuée sur une largeur de 8.80 mètres et sur une longueur de 8 mètres. L'espace inter-rangs était de 80 cm et l'espace intra-ligne de 40 cm, soit 3 plants/m².



Photo 1 : Parcelle 1 lors de la période 3 (présence bordure de maïs et tomate en floraison)



Photo 2 : Piège à phéromone (Catherine Thibaut)

- Temps 3 (fig 2c) : Destruction de la bordure de maïs, (le 12/04/2011 pour la ligne 1, le 03/05/2011 pour la ligne 2 et le 09/05/2011 pour les lignes 3 et 4).

Pour tester les hypothèses, trois périodes ont été nécessaires pour réaliser les observations : maïs seul avec les soies fraîches, tomate en floraison associée à la bordure de maïs avec les soies fraîches et tomate seule en floraison.

L'emplacement de la bordure de maïs a été choisi de telle sorte que la parcelle soit sous le vent de la bordure. *H. zea* vole en effet contre le vent. L'hypothèse faite est que les signaux du maïs couvriraient ceux de la tomate (background odor Schröder & Hilker 2008) ; ainsi *H. zea* reçoit d'abord les signaux du maïs et colonise la bordure. Les bords de parcelle (10 mètres) ont été considérés comme des zones tampons. Elles ont été enherbées et entretenues, fauchées régulièrement, afin de ne pas représenter de réservoir pour *H. zea*.

Trois pièges à phéromones (photo 2) ont été placés en bordure de chacune des parcelles, un mètre au dessus de la surface du sol (Garcia, 2006). Ils étaient situés à plus de 30 mètres les uns des autres, ce qui est conforme aux préconisations du fabricant, pour capturer les mâles *H. zea* afin de déterminer une dynamique des populations. Le piège à phéromones influence peu la ponte des femelles car il ne piège que les mâles et les captures représentent la population présente sur la parcelle puisque le sex-ratio est de 1/1 (Leonard 1989). Les phéromones sont remplacées hebdomadairement (le lundi) et les pièges sont relevés tous les 5 jours (le vendredi). Le biais introduit par l'utilisation de piège attractif est ainsi le même tout au long de l'expérimentation.

Les travaux du sol (labour, préparation sol pour plantation), les apports de fertilisants (de fond et de couverture), l'irrigation par aspersion, le sarclage, les travaux d'entretien des bordures sont menés de façon similaire sur l'ensemble des parcelles. Ces travaux répondent à un calendrier préétabli, ajusté en fonction des observations faites sur les parcelles.

L'engrais de fond est seulement apporté sur les parcelles de tomate, une semaine avant plantation. L'engrais de couverture (urée) est apporté 3 semaines après l'émergence des plants de maïs et toutes les 2 semaines. [Annexe A: calendrier des travaux].

II. Méthodes

1. Les observations

a. La phénologie

i. La bordure de maïs

Les stades phénologiques de la bordure de maïs ont été observés sur l'ensemble des plants (232 plants repartis sur 4 lignes). Le pourcentage des différents stades, sur l'ensemble de la bordure, a été évalué ce qui permet d'avoir une donnée quantitative de la floraison.

Les stades phénologiques observés étaient :

- stade végétatif
- sortie de l'inflorescence mâle
- inflorescence mâle fonctionnelle (étamine exposée au vent)
- apparition des soies de l'inflorescence femelle (début de floraison)
- dessèchement des premières soies de l'inflorescence femelle
- toutes les soies de l'inflorescence femelle sont sèches
- développement des grains
- maturation des grains
- sénescence

Le pourcentage floraison considéré par la suite est le pourcentage du stade apparition des soies de l'inflorescence femelle

ii. La parcelle de tomate

On note la présence/absence de bouquets floraux (bouquets ayant au moins une fleur ouverte) sur l'échantillonnage fait pour les observations d'infestation de *H. zea* (voir partie 1.b.ii) puis on calcule le pourcentage de floraison de l'échantillon.

b. Helicoverpa zea

i. La dynamique des populations mâles

Le dénombrement des captures des trois pièges à phéromones a permis de réaliser la dynamique de population mâle qui est reliée aux différentes situations d'occupation des sols et aux variables climatiques (pluie, vent, température jour et température nuit).

ii. Les infestations

Pour évaluer la population de chenilles et d'œufs sur la bordure de maïs, 20 épis ont été prélevés au hasard et au maximum selon la disponibilité (1/3 des épis disponibles pour que la bordure reste fonctionnelle). Le stade de développement de l'épi prélevé a été noté. Au stade 1, les soies commencent à sortir de l'épi ; au stade 2, les soies sont bien sorties ; au stade 3 les soies commencent à sécher ; au stade 4 les soies sont complètement sèches et au stade 5, la formation du grain est en cours.

Ils ont été conservés au réfrigérateur avant l'observation en laboratoire des chenilles et des œufs d'*H.zea*. De plus, les œufs parasités ont été placés en boîtes de Pétri pour observer une éventuelle éclosion et identifier le parasitoïde.

La faune retrouvée sur ces épis a également été prise en compte, en citant plus particulièrement la présence/absence des principaux ennemis naturel d'*H. zea* (*Orius insidiosus*, *Coleomegilla maculata*). Les plants où les épis ont été récoltés, ont été enlevés de la bordure.

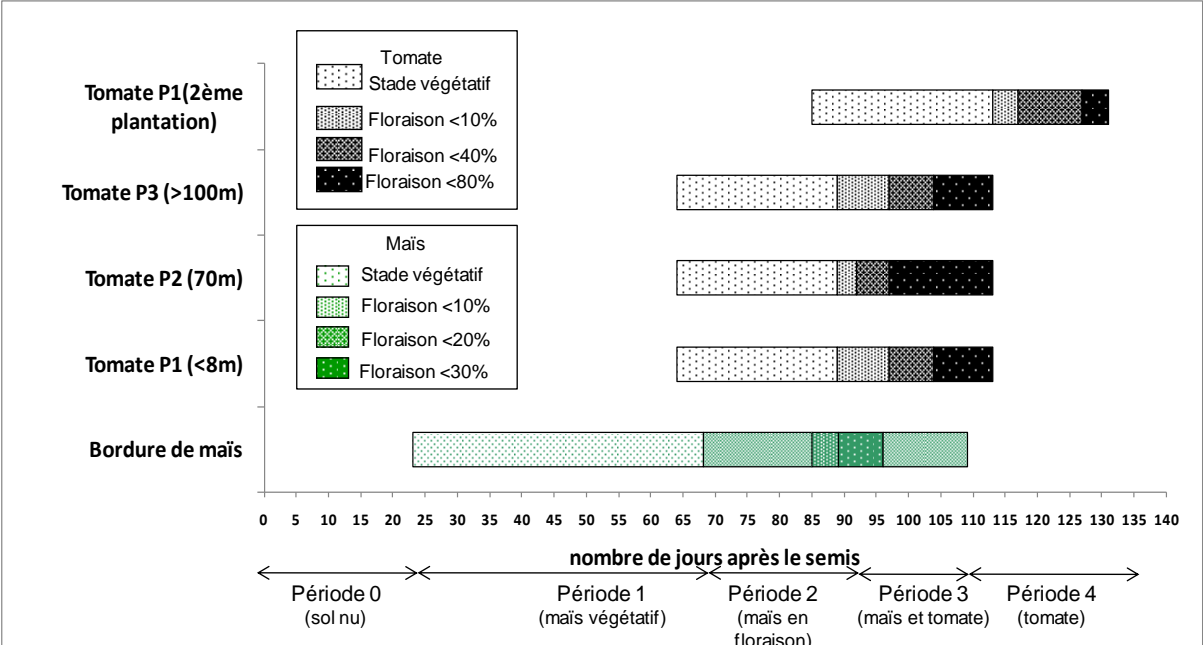
Pour évaluer la population de chenilles et d'œufs sur la parcelle de tomate, les observations sont faites sur 50 plants par parcelle. Chaque parcelle a été divisée en 5 blocs : 1^{ère} à la 4^{ème} ligne, 5^{ème} à 8^{ème} ligne, 9^{ème} à 12^{ème} ligne, 13^{ème} à 16^{ème} ligne et 17^{ème} ligne à 20^{ème} ligne.

Deux observations ont été réalisées par semaine, le tirage des 10 plants par bloc a été réalisé de manière aléatoire avec la contrainte de ne pas revenir la même semaine sur le même plant. Cette contrainte est due au fait qu'une nouvelle feuille n'aurait pas eu le temps de se former entre deux observations. Ce type d'échantillonnage a pour but d'avoir une notion de l'infestation en fonction de la distance à la bordure. Sur chaque plant, la feuille située au dessous du dernier bouquet fleuri de la tige principale a été prélevée et placée en chambre froide avant observation en laboratoire (Hoffmann et al., 1991 ; Alvarado-Rodriguez et al., 1982 ; Zehnder et al., 1995). Le bouquet fleuri doit présenter au moins 50% de ses fleurs ouvertes car même si les œufs sont déposés sur le 1/3 supérieur de la plante, une concentration est souvent observée autour du bouquet le plus fleuri (Alvarado-Rodriguez et al., 1982). Le dénombrement, sous loupe binoculaire, se fait sur les faces inférieures et supérieures des feuilles. La faune retrouvée sur ces feuilles a également été prise en compte. De plus, les œufs parasités ont été placés en boîtes de Pétri avec la foliole sur laquelle ils se trouvaient lors du prélèvement. Cela a permis d'observer une éventuelle éclosion pour identifier le parasitoïde.

Pour chacun des plants observés, les fruits présentant des dégâts ont été notés. Les fruits retenus ont été collectés pour être observés en laboratoire afin d'évaluer le nombre de chenilles présentes, ainsi que leurs stades de développement.

2. Analyse statistique

L'analyse statistique des données a été réalisée avec le logiciel de traitement R version 2.11.1. Des analyses de régression ainsi que des modèles linéaires généralisés selon la loi de poisson ont été réalisés. Les variables testées sont la population mâle par piège et le nombre d'œuf et de chenille par épis ou par plant de tomate. Les facteurs testés sont la période (disponibilité en ressource), la pluviométrie, le stade de développement de l'épi, la présence ou non de bouquet floraux sur les plants de tomate, les populations mâle.



Graphique 1 : Stade phénologique et pourcentage de floraison de la bordure maïs et des parcelles de tomate

Résultats

1. La phénologie de la bordure de plantes pièges et des parcelles de tomate

Le graphique 1 montre la période d'attractivité de la tomate (floraison) et du maïs (présence des soies fraîches). L'ensemble de l'essai peut être divisé en cinq périodes : une première période où le sol est nu (notée période 0) ; une deuxième période où la bordure de maïs est au stade végétatif et les parcelles de tomate en sol nu (notée période 1) ; une troisième période où la bordure de maïs est en floraison et les parcelles de tomate au stade végétatif (notée période 2) ; une quatrième période où la bordure de maïs et les 1^{ères} plantations de tomate sont en floraison et les 2^{èmes} plantations au stade végétatif (notée période 3) ; et une cinquième période après l'arrachage de la bordure de maïs, la 2^{ème} plantation de la parcelle 1 de tomate est en floraison (notée période 4) . Les conditions requises pour les observations sont vérifiées.

La période 0 s'étale du 1^{er} jour après semis jusqu'à la levée de la 1^{ère} ligne de maïs le 23^{ème} jour. Pour la période 1, la levée de la 2^{ème} ligne de maïs n'a pas eu lieu suite à une attaque de fourmis et/ou de rat, elle a donc été ressemée une semaine plus tard. Les levées des lignes 2, 3 et 4 de maïs ont donc été échelonnées dans le temps, à une semaine d'intervalle.

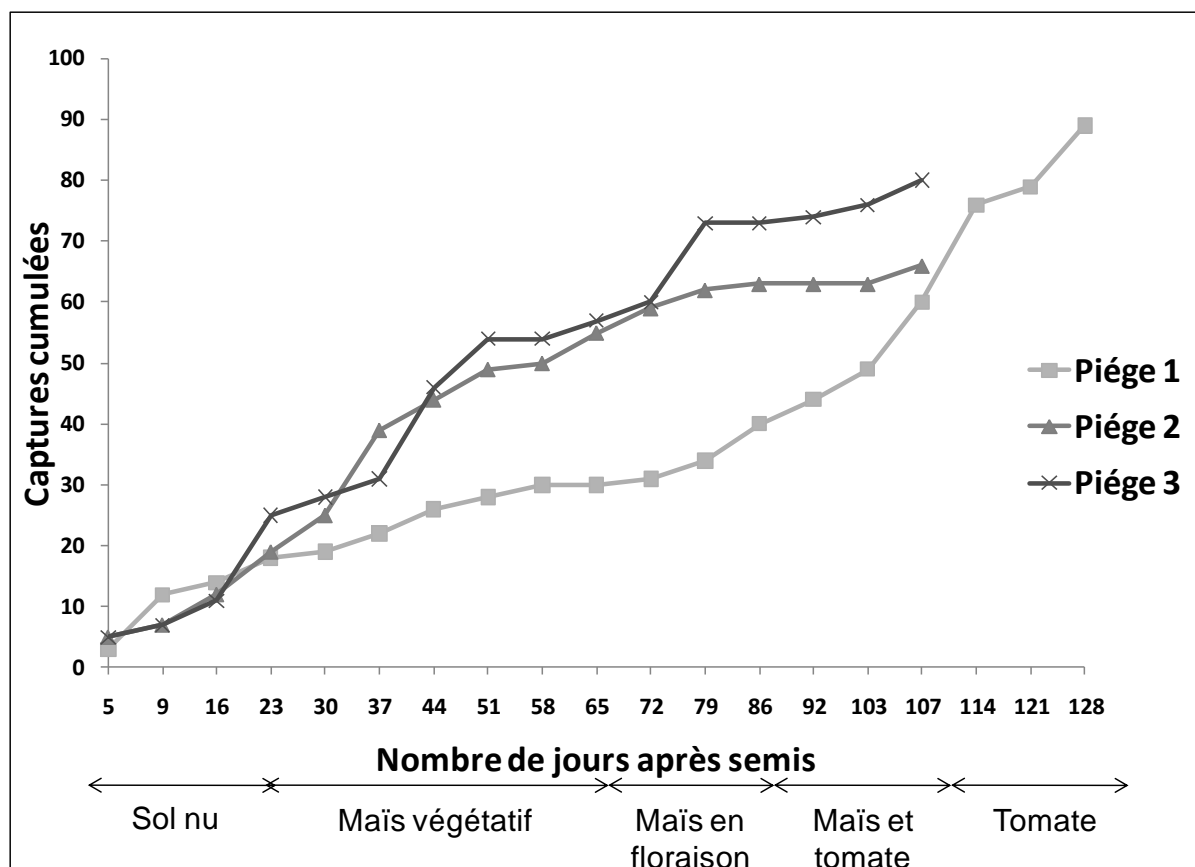
Pour la période 2, la floraison de la 1^{ère} ligne commence le 67^{ème} jour, la floraison de ligne 2 et 3 commence au 80^{ème} jour. Le pourcentage de floraison de l'ensemble de la bordure est de 10% jusqu'au 85^{ème} jour (seul les plants de la ligne 1 sont en floraison), puis de 20% jusqu'au 89^{ème} jour (le pourcentage se fait sur les plants de la ligne 1, 2, et 3). Les parcelles de tomate sont au stade végétatif durant cette période. La ligne 1 est arraché au 83^{ème} jour.

Pour la période 3, la floraison des parcelles de tomate issues de la 1^{ère} plantation, a débuté le 89^{ème} jour, les parcelles 1 et 3 se sont comportées de façon similaire avec un pourcentage de floraison inférieur à 10% jusqu'au 97^{ème} jours puis inférieur à 40% jusqu'au 105^{ème} jours. La parcelle 2 a été plus précoce, 10% de la parcelle ayant été en floraison le 93^{ème} jour, inférieur à 40% jusqu'au 97^{ème} jour et inférieur à 80% jusqu'au 110^{ème} jour. La deuxième plantation de tomate est restée au stade végétatif. Le pourcentage de floraison de la bordure a été inférieur à 30% jusqu'au 97^{ème} jour puis inférieur à 10% jusqu'au 110^{ème} jour (date d'arrachage de la bordure). Jusqu'au 97^{ème} jours, la ligne 2, 3 et 4 sont entrées en floraison. Au 102^{ème} jour, la ligne 2 est arraché. A partir du 97^{ème} jour seule la ligne 4 est entrée en compte dans le calcul du pourcentage de floraison, la ligne 3 ayant atteint le stade de formation des grains.

Pour la période 4, au 110^{ème} jour, la bordure de maïs a été arrachée, la 1^{ère} plantation de tomate n'est plus prise en compte tenu de son état sanitaire (80% des plants flétris) et de son état d'avancement (formation des fruits). La 2^{ème} plantation des parcelles 2 et 3 n'a pu être menée à terme compte tenu des conditions climatiques favorable pour développement du flétrissement bactérien (forte pluviométrie : 11.5 mm /jour). La floraison de la 2^{ème} plantation de la parcelle 1, est restée inférieure à 10% jusqu'au 117^{ème} jour puis inférieure à 40% jusqu'au 127^{ème} jour puis inférieure à 80% jusqu'au 132^{ème} jour (fin de l'essai).

2. La dynamique des populations adultes mâles piégées

Les captures sur l'ensemble des pièges et de l'essai se sont élevées à 246 individus, avec une moyenne hebdomadaire de 13 captures sur les 3 pièges. Au regard des années précédentes les niveaux de population sont restés faibles (jusqu'à 40 individus/piège/semaine en 2010). Le graphique 2, représentant la dynamique des populations adultes mâles piégées sur chacune des parcelles grâce aux pièges à phéromone au cours du temps, montre une population mâle piégée faible (<90 individus).



Graphique 2 : Dynamique de la population mâle piégée en fonction du temps et de l'occupation des sols

	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3
Sol nu (per 0)	a=0,73 r ² = 0,83 p=10%	a=0,78 r ² = 0,98 p=5%	a=1,1 r ² = 0,89 p=10%
Maïs végétatif (per 1)	a=0,33 r ² = 0,96 p=0,1%	a=0,86 r ² = 0,92 p=0,1%	a=0,87 r ² = 0,92 p=0,1%
Maïs floraison (per 2)	a=0,47 r ² = 0,89 p=10%	a=0,38 r ² = 0,94 p=5%	a=0,87 r ² = 0,86 p=10%
Maïs-Tomate (per 3)	a=0,83 r ² = 0,86 p=10%	a=0 r ² =0,47	a=0,29 r ² = 0,85 p=10%
Tomate (per 4)	a=1,29 r ² = 0,93 p=5%		

Tableau 1 : Valeurs caractéristiques des régressions linéaires des effectifs de mâles en fonction du temps, pour chaque période : pente (a) , r², p

	Df	DevRes	Df res	Dev	P(> Chi)	
NULL	18	57.762				
pluvio	1	0.0024	17	57.760	0.9605	
période	1	17.3332	16	40.427	3.137e-05	***
pluvio*période	1	0.0005	15	40.426	0.9824	

Tableau 2: Analyse de variance du modèle GLM population mâle du piège 1 en fonction de la pluviométrie et de la période.

Les populations des pièges 2 et 3 ont été supérieures à celle du piège 1 à partir 25^{ème} jour puis tendent à redevenir identiques au 107^{ème} jour (surtout P2). Les populations des pièges 2 et 3 augmentent de façon constante jusqu'au 75^{ème} jour puis un ralentissement est observé alors que pour le piège 1, on observe une augmentation constante (mais plus faible que sur P2 et 3) jusqu'au 75^{ème} jour puis une accélération. Au 107^{ème} jour, les populations du piège 1 ont augmenté de façon plus importante. Les populations des pièges 2 et 3 n'apparaissent pas compte tenu de l'absence de ressource sur les parcelles, mais les pièges ont été conservés pour maintenir l'équilibre.

Le tableau 1 montre les taux de croissance, donnés par les coefficients des analyses de régression linéaire, des captures pour les différentes périodes.

Pour la période 0, la pente est plus importante dans le piège 3 ($a_3=1.1, p=10\%$) que dans le piège 1 et 2 ($a_1 = 0.73, p=10\%$; $a_2=0.78, p=5\%$). La différentiation du piège 3 se fait à la dernière date (23 jours après semis), le nombre de captures est alors de 25 contre 18 et 19 à la même date pour les pièges 1 et 2 respectivement.

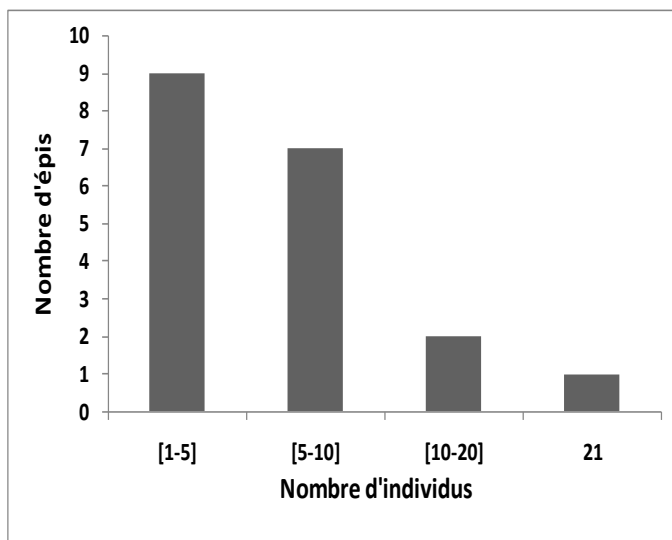
Pour la période 1, les captures du piège 1 (30 individus) sont inférieures à celle des 2 autres pièges (55 et 57 pour les pièges 2 et 3 respectivement). Les pentes correspondant aux pièges 2 et 3 sont plus importantes ($a_2=0.86, p=0.1\%$; $a_3=0.87, p=0.1\%$) que celle relative au piège 1 ($a_1=0.33, p=0.1\%$).

Pour la période 2, les captures du piège 1 (40 individus) ont été inférieures à celle des 2 autres pièges (63 et 73 pour le piège 2 et 3 respectivement). La pente correspondant au piège 3 est plus importante ($a_3=0.87, p=10\%$) que celle des pièges 1 et 2 ($a_1=0.47, p=10\%$, $a_2=0.38, p=5\%$).

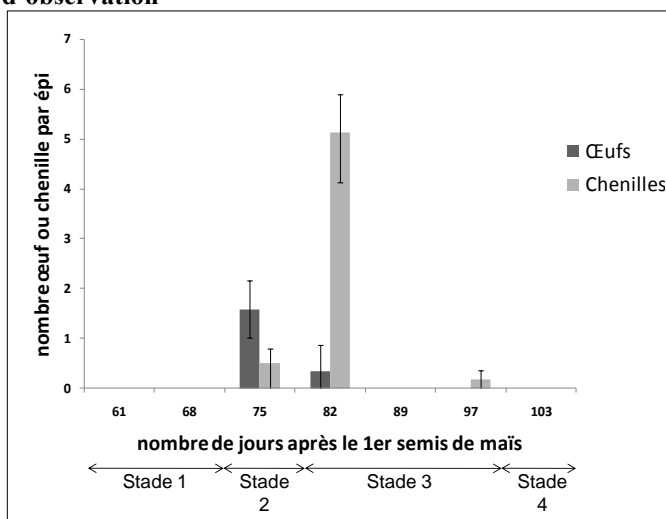
Pour la période 3, aucune capture n'a été réalisée par le piège 2 jusqu'au 107^{ème} jour (3 individus ont été capturés au 107^{ème} jour) alors que les captures augmentaient faiblement pour le piège 3 ($a_3=0.29, p=10\%$) et de façon plus importante pour le piège 1 ($a_1=0.83, p=10\%$). Le nombre de captures est resté inférieur dans le piège 1 : 60 captures contre 80 captures dans le piège 3.

Pour la période 4, l'augmentation des captures est forte ($a_1=1.3, p=5\%$). La population cumulée est alors au même niveau que celle des autres pièges (89 individus).

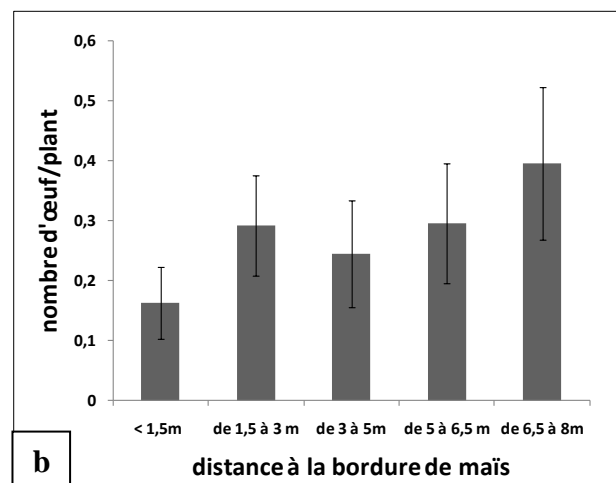
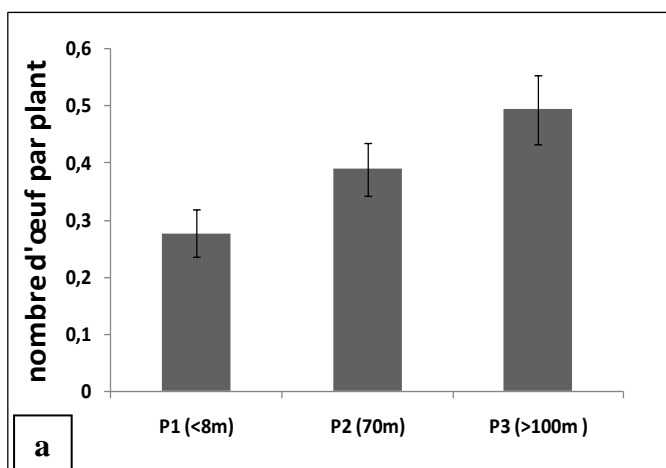
La période, caractérisé par différente disponibilité en ressource, a un impact significatif sur les captures. En observant les différentes captures du piège 1, l'analyse de variance sur le modèle linéaire généralisé selon la loi de poisson expliquant la population mâle en fonction de la pluviométrie (valeur cumulé entre 2 captures) et de la période (5 modalités) montre un effet significatif de la période ($P<5\%$).



Graphique 3 : Nombre d'épis infestés en fonction du nombre d'individu observé sur ensemble des dates d'observation



Graphique 4: Evolution de la colonisation de la bordure de maïs (nombre moyen d'œufs et de chenilles par épi \pm SE).



Graphique 5 : Infestation des parcelles (nombre d'œuf par plant (\pm SE)) en fonction des parcelles sur la période 3 (a) , en fonction de la distance à la bordure (b)

3. L'infestation des cultures par *H. zea*

a. Infestation de la bordure de maïs

Les œufs ont été observés sur les soies et les chenilles dans les épis.

Sur l'ensemble de l'étude, l'infestation de la bordure de maïs est restée faible : 19%. On a observé de 1 à 5 individus (œuf ou chenille) dans 50% des épis et 21 individus dans un épi (graphique 3).

L'infestation de la bordure de maïs, le nombre d'individus collectés/plant, dépend de l'état phénologique de la bordure et des populations adultes présentes, indiquées par les captures ($Dev_{1,93} : 52.46$ $p < 0.001$) (annexe C). L'infestation a commencé à l'apparition des soies.

D'après le graphique 4, représentant la colonisation de la bordure par *H. zea* au cours du temps jusqu'au 75^{ème} jour, les épis récoltés ne présentaient aucun œuf ou chenille. Les œufs de *H. zea* étaient présents sur des soies fraîches bien développées. On a observé en moyenne 1.6 ± 0.6 œufs au 75^{ème} jour après semis (épis au stade 2).

- Au 82^{ème} jour, les épis ont présenté les premières soies sèches, en moyenne 0.30 ± 0.50 œufs et 5 ± 0.8 chenilles ont été retrouvées par épi récolté. Au 97^{ème} jour, les épis sont au même stade de développement qu'au 82^{ème} jour et 0.2 ± 0.2 chenilles ont été retrouvées par épi récolté. Au 103^{ème} jour, les épis présentaient des soies sèches, et aucun individu n'a été collecté sur ces épis.

b. L'infestation des parcelles de tomate

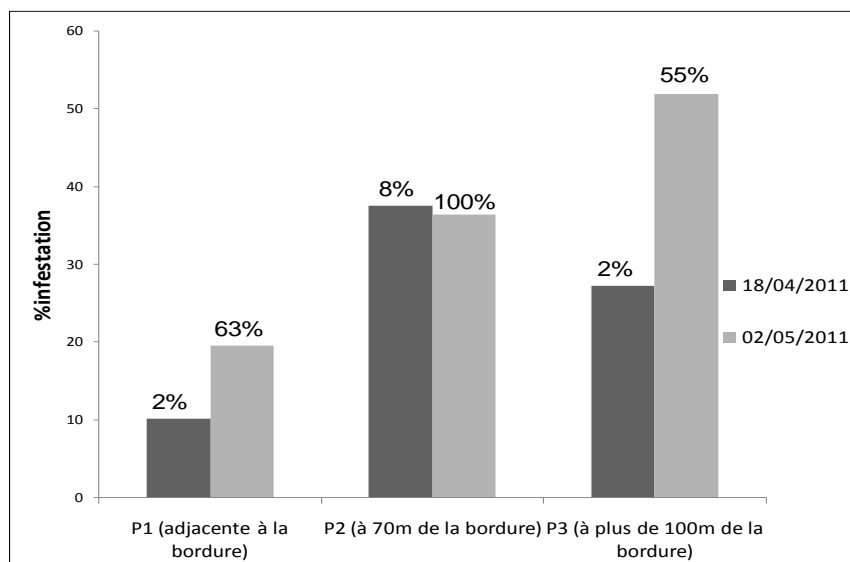
Les analyses suivantes sont faites sur la période 3 (bordure de maïs fleurie & tomate fleuries). Durant l'étude, seuls des œufs ont été observés sur les tomates.

L'infestation des parcelles de tomates (nombre d'œufs collectés par plant), varie en fonction de la distance à la bordure ($Dev_{1,627} : 652$ $p < 0.001$) et du nombre de plants fleuris dans les parcelles ($Dev_{1,627} : 693$ $p < 0.001$) (annexe D). Un poids plus important est attribué au facteur parcelle (annexe E).

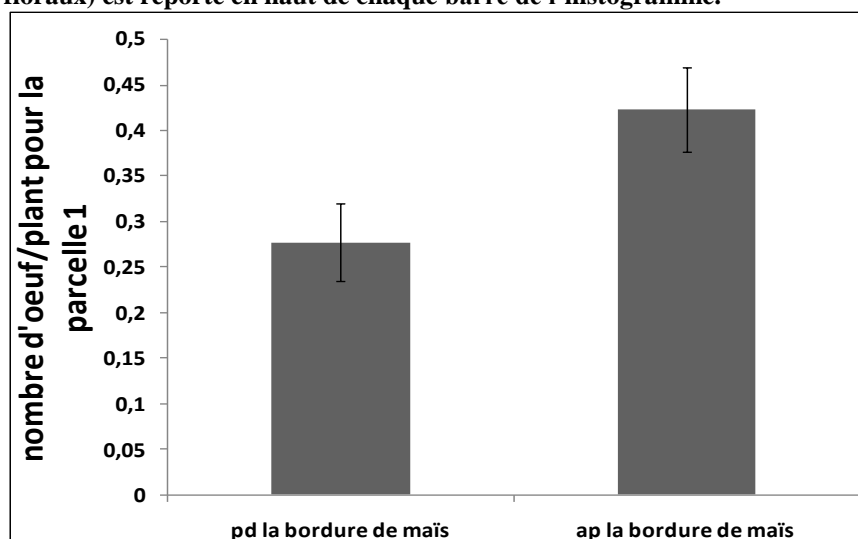
Le nombre d'œufs collectés par plant est moins important dans la parcelle adjacente à la bordure que pour les 2 autres parcelles. Pour la parcelle 1 adjacente à la bordure, 0.3 ± 0.04 œufs sont collectés par plant, 0.4 ± 0.04 pour la parcelle 2 à 70 mètres de la bordure et de 0.5 ± 0.06 pour la parcelle 3 à plus de 100 mètres de la bordure (Graphique 5a).

A l'échelle de la parcelle 1, il n'y a pas de relation entre l'infestation et la distance à la bordure ($F = 2.4$, $p > 5\%$)

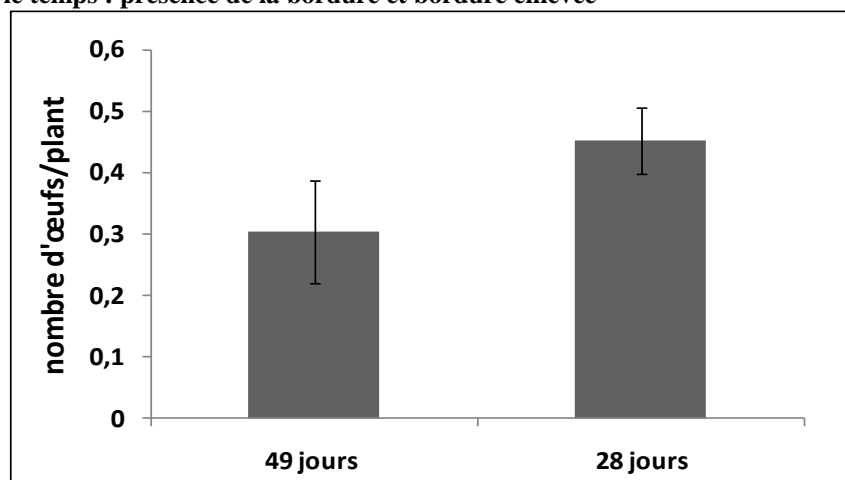
Le graphique 5b, représentant le nombre d'œufs par plant de la parcelle 1 en fonction de la distance à la bordure, montre que pour une distance inférieure à 1.5 mètre de la bordure 0.2 ± 0.06 œufs ont été observés par plant ; pour une distance de 1.5 à 3 mètres et de 5 à 6.5 0.3 œufs/plant ± 0.09 ; pour une distance de 3 à 5 mètre, 0.2 œufs/plant ± 0.09 et pour une distance de 6.5 à 8 mètre 0.4 œufs/plant ± 0.1 .



Graphique 6 : Infestation des parcelles de tomate selon deux dates (barre foncée le 18/04/2011 et barre claire le 02/05/2011). Le pourcentage de floraison de l'échantillon (% de plants ayant des bouquets floraux) est reporté en haut de chaque barre de l'histogramme.



Graphique 7 : Infestation de la parcelle 1, nombre d'œufs par plant, suivant deux situations séparées dans le temps : présence de la bordure et bordure enlevée



Graphique 8 : Infestation (nombre d'œufs par plants de tomate \pm SE), de 2 plantations d'âge différent (49 et 28 jours après plantation) après arrachage de la bordure au 113^{ème} jour.

Les données présentées au graphique 6, montrent que l'infestation a été d'autant plus importante que le pourcentage de floraison était élevé.

Pour les parcelles 1 et 3, pour un faible pourcentage de floraison de l'échantillon (2%), l'infestation est faible, respectivement 10% et 27%. Lorsque le pourcentage de floraison est élevé, l'infestation pour ces deux parcelles est de respectivement 20% et 52%.

Pour la parcelle 2, l'infestation est de 36% pour les deux pourcentages de floraison 8% et 100%.

c. Comparaison de l'infestation de la parcelle 1 avant et après bordure de maïs

Le nombre d'œufs par plant de la parcelle 1 a été plus important après l'arrachage de la bordure de maïs ($\text{Dev}_{1,460} : 488 \text{ } p < 0.001$) (Annexe F).

Après l'arrachage de la bordure, le nombre d'œufs collectés/plant était de $0.4 \text{ œufs} \pm 0.04$ alors qu'il était de 0.3 ± 0.04 lorsque la bordure était présente (Graphique 7).

De plus, après l'arrachage de la bordure de maïs, le pourcentage d'infestation de la parcelle a augmenté significativement avec 42% des plants infestés contre 28% avant l'arrachage (test du $\text{Chi}^2 = 7.6; p < 0.05$).

d. Comparaison de l'infestation de la parcelle 1 suivant l'âge de la plantation

L'âge de la plantation a impacté de façon significative l'infestation de la parcelle 1 au 113^{ème} jour ($\text{Dev}_{1,278} : 303 \text{ } p < 0.05$). L'infestation était d'autant plus importante que les plants étaient jeunes (annexe G).

Après l'arrachage de la bordure de maïs, la plantation de tomate de 49 jours était en fin de floraison/début de maturation, celle âgée de 28 jours était en début de floraison.

Le nombre d'œufs par plant a été plus important pour la plantation la plus jeune ($0.5 \pm 0.05 \text{ œufs}$) comparativement à la parcelle âgée $0.3 \pm 0.08 \text{ œufs}$ (Graphique 8).

Discussion

Cet essai avait pour but d'analyser le niveau de la population d'*H.zea* (indiqué par le niveau captures de mâle) en fonction de la disponibilité en plantes hôtes attractives (soies fraîches / fleurs de tomate) et le niveau d'infestation des parcelles de tomate par *H.zea* (l'indicateur retenu étant le nombre d'œufs par plante) en fonction de la présence/absence de bordure de maïs attractive et de leurs distances à la bordure.

La bordure de maïs a été semée à 4 différentes dates, étalées sur 5 semaines, pour obtenir une bordure fleurie pendant 5 semaines mais elle est considérée ensuite dans son ensemble. Le deuxième semis de maïs a dû être replanté suite une attaque par des fourmis et des rats, ce qui a entraîné un retard de floraison d'une semaine pour la ligne 2. De plus, les conditions climatiques ont entraîné une floraison plus précoce (une semaine plus tôt) des 3^{ème} et 4^{ème} semis. Par conséquent la période de floraison de la bordure de maïs a été écourtée. Cela a été une contrainte car cela a diminué le nombre d'observations. A cette floraison précoce, s'est ajouté un mauvais état sanitaire des parcelles dû au développement de *Ralstonia solanacearum*. Le développement important de cette bactérie peut en partie s'expliquer par des conditions climatiques favorables (forte pluviométrie : 11.5 mm /jour). Les résultats sur l'ensemble de l'essai sont donc moins nombreux que ceux espérés.

La plantation d'une ligne supplémentaire lors de la plantation de tomate ou l'utilisation de plusieurs variétés de maïs avec des comportements phénologiques différents aurait pu en partie résoudre le problème de floraison de la bordure. Associer des plantes épuratrices pour *Ralstonia solanacearum* peut également être une piste pour gérer l'état sanitaire des parcelles.

Les populations mâles piégées sont restées relativement faibles au vu des résultats des essais des années précédentes (16 individus maximum par capture en 2011 contre 40 en 2010). Cela peut s'expliquer par la pluviométrie inhabituelle rencontrée durant cette période : une moyenne de 11.5 mm d'eau par jour a été observée, avec des pics de précipitation allant jusqu'à 100mm/jour. En effet selon Parajulee et al. (2004) une forte pluviométrie gênerait les activités de *H.zea* (ou des noctuelles). Cependant aucune relation statistique n'a pu être établie compte tenu du manque de contraste des différents phénomènes pluviométriques.

En outre, pour piéger les populations mâles des pièges à phéromones synthétiques ont été utilisés. Comme le soulignent McNeil et Delisle (1993), la composition des leurres synthétiques n'est pas tout à fait au point pour concurrencer les phéromones des femelles vierges. Ce qui peut s'expliquer par un manque d'information sur le rôle des facteurs abiotiques et biotiques. Cependant, comme le souligne Leonardo et al. (1989), il existe une compétition entre les phéromones artificielles et les phéromones naturelles émises par les femelles. Les mâles piégés peuvent alors être ceux rejetés par les femelles et n'être ainsi pas représentatifs de la population (McNeil et Delisle, 1993).

De plus, Kvedaras et al. (2007) montre que l'association de phenylacetaldehyde (composés émis par les soies du maïs) et de (Z)-3-hexenyl acetate (composés émis par les feuilles vertes) avec les phéromones diminue le nombre de captures présent dans les pièges. Cela pourrait expliquer le nombre de capture du piège 1 moins important que les 2 autres pièges lors de la période où la bordure est au stade végétatif et lorsqu'elle est en floraison ainsi que l'augmentation de la population du piège 1 après la destruction de la bordure.

D'autres facteurs affectent la performance du piège comme la couverture du sol, l'état phénologique de la culture, la température, la lune, l'âge des noctuelles (Leonardo et al., 1989).

Ainsi avec ces pièges, il est difficile de connaître la représentativité de la population piégée au vu de la population totale présente sur l'environnement. Toutefois, nous supposons qu'en présence de maïs le pourcentage de mâles capturés est plus faible qu'en présence de tomate.

Afin de confirmer cette hypothèse et pour avoir un meilleur outil pour évaluer les populations présentes dans l'environnement il faudrait faire des captures/marquage/recaptures. Ceux qui consistent à piéger *H.zea*, les marquer, les relâcher et réaliser des recaptures.

Le faible nombre d'épis infestés dans la bordure peut s'expliquer par la difficulté à observer les œufs sur les soies translucides de maïs et la perte d'œufs accrochés sur les soies due aux précipitations ont pu entraîner une erreur dans l'estimation de la population présente et donc détournée des parcelles de tomate. Cependant, le faible nombre d'individus retrouvés par épi est en accord avec le comportement d'*H. zea*, la population de chenilles étant limitée par leur comportement cannibale.

La population d'*H. zea* juvénile des épis dépend de la population mâle et de l'état phénologique de la bordure. Les deux sont étroitement liés puisque la population mâle est attirée par les phéromones émises par les femelles qui sont elle-même attirées par les kairomones émises par les plantes.

De plus, ces résultats viennent confirmer ceux du mémoire de Metty Trebeau (2010) qui montrait aussi une relation entre les populations mâles piégées et la population présente dans la bordure. Les résultats de Jackson et al. (2007) montraient eux aussi une relation entre les captures de mâle et les populations des parcelles de maïs seulement.

Un autre des rôles avancé pour les bordures piège est l'attraction d'ennemis naturels du bioagresseur. Les essais précédents et la bibliographie mettent en évidence des comportements de prédation par *Orius insidiosus* et *Coleomegilla maculata* ; au cours de cet essai, aucun de ces deux insectes n'a été identifié, la faune présente sur la bordure est restée très faible. Seule une forte présence de cécidomyie (*Contarinia spp*) a été notée. Leur présence, liée à la forte pluviométrie, entraîne le pourrissement des épis. Leur présence importante sur la bordure peut être synonyme d'une attractivité moindre des épis pour *H. zea* et donc entraîner la faible infestation de la bordure. Aucun œuf parasite n'a été retrouvé dans la bordure de maïs et les parcelles de tomates (dans les essais précédents 25% des œufs sur les parcelles de tomates étaient parasités). Une étude plus poussée sur les ennemis naturels d'*H. zea*, leur préférence alimentaire, leur zone refuge permettrait d'optimiser la gestion de la bordure en leur créant des zones d'alimentation et/ou de refuge. Semer par exemple un mélange de culture dans la bordure piège pour quelle soit attractive pour *H. zea* et ses ennemis naturels.

Les résultats montrent un effet positif de la bordure sur l'infestation des parcelles. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Purcell et al., 1992 et Roltsch and Maize, 1984 qui démontraient qu'en présence de maïs dans le paysage l'infestation sur la tomate était moindre. La parcelle adjacente à la bordure présente une infestation moindre en comparaison des parcelles situées à plus de 70 mètres. L'hypothèse selon laquelle la bordure a un impact à moins de 100 mètres est vérifiée et affinée puisque la parcelle à 70 mètres est plus infestée que celle adjacente à la bordure. Un affinement du dispositif permettrait de connaître plus précisément la distance d'influence. Cet essai nous permet de dire qu'elle se situe entre 50 mètres (acquis de Metty Trebeau, 2010) et 70 mètres. L'hypothèse selon laquelle les signaux du maïs couvraient ceux de la tomate de la parcelle 1 est donc vérifiée.

Par contre, aucune relation n'a pu être mise en évidence entre les captures de *H. zea* et l'infestation dans les tomates. Les pièges étant des indicateurs de la population adulte présente et le faible intervalle entre les trois pièges rendent difficile la liaison entre les captures par les pièges et la parcelle, compte tenu de la capacité de vol d'*H. zea* (vol inter-parcellaire de 100 mètres). Les populations mâles ne peuvent donc pas être directement reliées à l'activité de ponte. De plus l'activité de ponte est caractérisée par le nombre d'œufs par plant ; or le choix a été fait de n'échantillonner que la feuille la plus proche du bouquet floral le plus ouvert. Même si l'activité de ponte est concentrée sur cette zone, les observations ne sont pas représentatives de l'infestation totale du plant (sous-estimation) et aucune extrapolation ne peut être faite. Ces résultats sont contraires à ceux énoncés par Izquierdo, 1996, il démontrait qu'il existait une corrélation entre les captures de mâle et les œufs présents sur les tomates. Cependant, les conditions d'expérimentation étaient différentes : étude sur *Helicoverpa armigera* (qui présente des comportements de réponse aux plantes hôtes sensiblement différentes à ceux observés pour *H. zea*), l'échantillonnage est réalisé sur 3 feuilles autour du bouquet floral.

Outre la localisation de la parcelle (i.e. distance à la bordure), la floraison de la parcelle a un impact sur l'infestation de la parcelle. Pour un faible pourcentage (<2%) l'infestation est moindre que pour un pourcentage plus élevé. A l'exemple de la parcelle 2, il semble qu'à partir de 10% de floraison les infestations soient identiques que lorsque le pourcentage de la parcelle est élevé. Le système de localisation des signaux par *H.zea* n'étant pas assez précis, la présence de plants en floraison adjacents aux plants non fleuris entraîne un dépôt des œufs indifféremment sur les plants fleuris ou non fleuris (Zalom et al., 1983).

Après l'arrachage de la bordure de maïs, le nombre d'œuf par plant est plus élevé que lorsque la bordure était présente (0.3 pendant la bordure et 0.4 après la bordure). Cette valeur est identique à celle de la parcelle 3 qui n'est pas sous l'influence de la bordure. Le niveau d'infestation augmente après arrachage, ce qui peut s'expliquer par :

- un puits d'infestation. Les œufs présents sur la bordure de maïs ont pu se développer et arriver au stade adulte ce qui aurait pu entraîner la colonisation de la parcelle voisine. Aucune conclusion ne peut être donnée quant à la dispersion d'*H. zea* sur les deux autres parcelles à 70 mètres et à plus de 100 mètres. Ces deux parcelles ont subi une attaque de *Ralstonia solanacearum*, ce qui n'a pas permis aux plants d'atteindre le stade floraison. Une meilleure gestion de l'après bordure devrait alors être envisagée : arrachage précoce, aspersion d'insecticide sur la bordure, meilleure gestion ou introduction d'ennemis naturels.

- une suppression de l'effet piège, les populations présentes sur la bordure se reportent donc vers les parcelles environnantes.

Il n'est pas sans possible de conclure à ce stade quelle hypothèse est impliquée. Pour vraiment évaluer l'effet puits d'infestation, il aurait fallu comparer la parcelle 1 à la parcelle 3 après arrachage. Si l'infestation de la P1 avait été supérieure à celle de P3 alors on pourrait conclure qu'il existe un puits d'infestation. Or nous n'avons pas de parcelle 3 disponible pour la comparaison suite au développement de *Ralstonia solanacearum* sur cette parcelle.

Les parcelles avant et après arrachage de la bordure diffèrent entre elles par l'âge de la plantation donc par leur stade de développement. Une des hypothèses qui peut être avancée est que les jeunes plants émettent une quantité plus importante de signaux attractifs que des plants plus âgées et présentent une meilleure structure d'accueil pour les pontes.

La mesure des dégâts occasionnés par *Helicoverpa* aurait pu permettre d'apprécier l'efficacité de la bordure car Purcell et al., 1992 montrait que le pourcentage de fruits abimés n'était pas diminué en présence de maïs. Une seule chenille suffit à faire des dégâts. Les parcelles n'étant pas arrivées jusqu'à la maturation des fruits, cette mesure n'a pu être réalisée.

Pour compléter cette étude plusieurs échelles doivent être envisagées. Le transfert en exploitation agricole permettrait de tester en conditions d'exploitation cette méthode de lutte biologique en testant différentes situations climatiques, pédologiques, paysagères et techniques mais aussi la faisabilité d'un tel système dans les exploitations agricoles qui font face à un complexe de bioagresseurs. Une étude plus ciblée de l'insecte et de ses ennemis naturels permettrait d'accroître l'efficacité de la bordure de maïs. Une connaissance accrue des ennemis naturels et de leur comportement alimentaire et de ponte serait un plus. Ainsi dans la bibliographie, il a été montré que *O. insidiosus* sélectionne ses plantes hôtes selon leur qualités structurales et leurs ressources nutritionnelles pour la descendance (Lundgren et al., 2009). Une étude en serre sur les préférences alimentaires des ennemis naturels permettrait de définir des espèces attractives à semer en association avec la bordure de maïs. L'utilisation de radar harmonique (http://www.pems.adfa.edu.au/~s9104004/trews/ww_re_hp.htm) sur des observations directes du comportement d'*H.zea* permettrait d'obtenir des informations sur les déplacements intra et inter-parcellaire, en particulier de la bordure de plante piège vers la parcelle, le choix de la plante hôte et le comportement de ponte, les zones refuge dans l'environnement. Couplé à une étude plus précise des composants du paysage, ces résultats permettraient d'optimiser l'efficacité de la bordure en testant différentes densités, différents designs pour la culture piège.

Hokkamen (1991) souligne que pour des insectes ayant une forte capacité de vol, la culture piège doit être disposée à une certaine distance de la culture, pour que l'effet barrière entre en jeu et éviter les phénomènes d'infestation plus important sur les lignes adjacentes à la bordure.

Les résultats de cette étude vont servir à la validation d'un modèle qui a pour but de prédire le comportement d'*H. zea* en fonction de la ressource (de sa disponibilité, de son agencement, de son attractivité).

Conclusion

Cet essai a confirmé le rôle de la bordure piège de maïs pour limiter l'infestation des parcelles de tomate.

Pour compléter cette étude plusieurs échelles doivent être envisagées :

- à l'échelle de l'insecte pour approfondir les connaissances sur ces ennemis naturels, son comportement dans l'environnement.
- à l'échelle de la parcelle expérimentale pour affiner le dispositif : densité, disposition, gestion après bordure, gestion du complexe de bioagresseur.
- à l'échelle de l'exploitation pour tester différentes conditions climatiques, pédologiques, techniques mais aussi la faisabilité économique et technique.

Cependant, les facteurs climatiques ayant fortement impactés sur cet essai, l'infestation a été limitée ainsi que les observations.

De plus, aucune mesure sur le rendement final n'a pu être réalisée, compte tenu du fait que les parcelles n'ont pu être menées à terme. Les essais suivants pourraient être un rapprochement entre les techniques de gestion d'*H.zea* et de *Ralstonia solanacearum* en intégrant des plantes assainissantes au dispositif parcellaire.

Bibliographie

- Cantelo, W. W., & Jacobson, M. (1998). Corn silk volatiles attract many pest species of moths. *Journal of Environmental Science and Health*, 14(8), 695-707.
- Capinera, J. L. (2007). *Featured creatures*. http://www.entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/corn_earworm.htm#dist
- Cook Samantha M, Zeyaur R. Khan, and John A. Pickett, The Use of Push-Pull Strategies in Integrated Pest Management; *Annu. Rev. Entomol.* 2007. 52:375–400
- Bernays and Chapman, Host plant selection by phytophagous insects.
- Dial, C. I. and Adler, P. H. (1990). Larval Behavior and Cannibalism in *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae). **83**, 258.
- Diongue, A., Talekar, N. S., Chang, Y. F., and Lai, P. Y. 2004. Ovipositional responses of the tomato fruitworm (*Helicoverpa armigera*) (Lepidoptera: Noctuidae) to the presence of eggs and to different stages of the tomato plant. *Plant, Prot. Bull.* 46: 303 – 314
- Elliger, C. A., Wong, Y., Chan, B. G. and Waiss, A. C. (1981). Growth inhibitors in tomato (*Lycopersicon*) to tomato fruitworm (*Heliothis zea*). *Journal of Chemical Ecology*, 7, 753.
- Firempong S and Zalucki MP (1990), Host Plant-Selection by *Helicoverpa-Armigera* (Hubner) (Lepidoptera, Noctuidae) - Role of Certain Plant Attributes. *Australian Journal of Zoology* 37(6) 675 – 683
- Fitt, G. P. (1989). The ecology of *heliothis* species in relation to agrosystems. *Annual Review of Entomology*, 34
- Guo B. Z., Widstrom N. W., Wiseman B. R., Snook M. E., Lynch R. E., AND Plaisted D. (1999). Comparison of Silk Maysin, Antibiosis to Corn Earworm Larvae (Lepidoptera: Noctuidae), and Silk Browning in Crosses of Dent x Sweet Corn. *J. Econ. Entomol.* 92(3): 746-753
- Hoffmann M.P, Wilson L.T, Zalom F.G and Hilton R.J (1991). Dynamic Sequential Sampling Plan for *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) Eggs in Processing Tomatoes: Parasitism and Temporal Patterns. *Environ. Entomol.* 20(4): 1005-1012
- Hokkanen, H. M. T. (1991). Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 36, 119-138.
- Honda K. (1995). Chemical basis of differential oviposition by lepidopterous insects. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* Volume 30, Issue 1, pages 1–23, 1995
- Hussain B., Bilal S. (2007). Marigold as a trap crop against tomato borer (Lepidoptera : Noctuidae). *International Journal of Agricultural Research* 2 (2) : 185-188
- Izquierdo J.I (1996). *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lep., Noctuidae) : relationship between capture in pheromone traps and egg count in tomato and carnation crop. *J.Appl.Ent.* 120,281-290.
- Izquierdo J.I. Utilización de feromonas en la predicción fenológica de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)

- Jallow, M. F. A., Paul Cunningham, J., & Zalucki, M. P. (2004). Intra-specific variation for host plant use in *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae): Implications for management. *Crop Protection*, 23(10), 955-964.
- Jallow, M., F. A. and Zalucki, M., P. (2003). Relationship between oviposition preference and offspring performance in Australian *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Australian Journal of Entomology*, 42, 343-348.
- Juvik J.A., Shapiro J. A., Young T.E, and Mutscheler M.A, (1994). Acylglucosides from Wild Tomatoes Alter Behavior and Reduce Growth and Survival of *Helicoverpa zea* and *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 87(2): 482-492
- Kennedy George G and Nicholas P. Storer (2000), Life systems of polyphagous arthropod pest in temporally unstable cropping system. *Annu. Rev. Entomol.* 2000. 45:467–493
- Kvedaras O.L, Del Socorro A.P and Gregg P.C., (2007). Effects of phenylcetaldehyde and (Z)-3-henenyl acetate on male response to synthetic sex pheromone in *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera : Noctuidae). *Australian Journal of Entomology*, 46, 224-230.
- Leonard Roger B., Graves Jerry B., Burris E., Pavloff Anthony M., Church Andgabie (1989). *Heliothis* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) Captures Pheromone Traps: Species Composition and Relationship to Oviposition in Cotton. *J. Econ.Entomol.* 82(2): 574-579
- Liu Z., Scheirs J. , AND Heckel D.G. (2010). Host Plant Flowering Increases Both Adult Oviposition Preference and Larval Performance of a Generalist Herbivore. *Environ. Entomol.* 39(2): 552-560
- Nault, B. A. and Speese Iii, J. (2002). Major insect pests and economics of fresh-market tomato in eastern Virginia. 21, 359
- Lundgren, J. G., Wychhuys, K. A. G., & Desneux, N. (2009). Population responses by *Orius insidiosus* to vegetational diversity. *Biocontrol*, 54, 135-142.
- McNeil J.N. et J. Delisle (1993). Le potentiel de l'écologie chimique dans la lutte contre les insectes nuisibles. *Phytoprotection*, vol. 74, n° 1, 1993, p. 29-39.
- Parajulee, M. N., Rummel, D. R., Arnold, M. D. and Carroll, S. C. (2004). Long-Term Seasonal Abundance Patterns of *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Texas High Plains. *J. Econ. Entomol.* 97(2) 668.
- Pfannenstiel R. S. and Yeagan K. V. (2002). Identification and Diel Activity Patterns of Predators Attacking *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) Eggs in Soybean and Sweet Corn. *Environmental Entomology*, 31(2):232-241. 2002.
- Potting R.P.J., Perry J.N., Powell W. (2004). Insect behavioural ecology and other factors affecting the control efficacy of agro-ecosystem diversification strategies. *Ecological Modelling* 182 : 199–216
- Purcell M., Johnson M.W., Lebeck L.M., Hara A.H., (1992), Biological control of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera : Noctuidae) with *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida : Steinernematida) in corn used as a trap crop, *Environ. Entomol* 21(6), 1441-1447.
- Raina, A. K., & Kingan, T. G. e. a. (1992). Chemical signals from host plant and sexual behavior in a moth. *Science*, 255(5044), 592-594.
- Rector, B. G., Snook, M. E., & Widstrom, N. W. (2002). Effect of husk characters on resistance to corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in high-maysin maize populations. *Journal of Economic Entomology*, 95, 1303- 1307.

Root, R. B. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: The fauna of collards (*brassica oleracea*). *Ecological Monographs*, 43, 95-153.

Renwick J A A., and Chew F S. (1994). Oviposition Behavior in Lepidoptera
Annual Review of Entomology Vol. 39: 377-400

Alvarado-Rodriguez B., Leigh T. F., AND Harry Lange W. (1982). Oviposition Site Preference by the Tomato Fruitworm (Lepidoptera: Noctuidae) on Tomato, with Notes on Plant Phenology. *J. Econ. Entomol.* 75: 895-898

Roltsch W.J.; Mayse M.A. (1984). Population Studies of *Heliothis* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) on Tomato and Corn in Southeast Arkansas. *Environmental Entomology*.13 : 292-299

Sansone, C. G. and Smith, J. W. (2001). Natural Mortality of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in Short-Season Cotton. *Environmental Entomology* .30 : 112-122.

Schröder R. and Hilker M. (2008). The relevance of background odor in resource location by insects : a behavioral approach. *Bioscience* vol 58, n°4, 308-316.

Shelton, A. M., & Badenes-Perez, F. R. (2005). Concepts and applications of trap cropping in pest management., *Annual Review of Entomology*. 51:285–308

Shelton A. M. and Nault B. A. (2003). Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* 23 : 497–503

Srinivasan R. ; Uthamasamy S. ; Talekar N. S. (2006). Characterization of oviposition attractants of *Helicoverpa armigera* in two solanaceous plants, *Solanum viarum* and *Lycopersicon esculentum*. *Current science*. 30:846-850.

Storer, N. P., Peck, S. L., Gould, F., Van Duyn, J. W. and Kennedy, G. G. (2003). Spatial Processes in the Evolution of Resistance in *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) to Bt Transgenic Corn and Cotton in a Mixed Agroecosystem: a Biology-rich Stochastic Simulation Model. *Journal of Economic Entomology*.96 : 156-172.

Torres-Vila, L. M., Rodríguez-Molina, M. C. and Lacasa-Plasencia, A. (2003). Impact of *Helicoverpa armigera* larval density and crop phenology on yield and quality losses in processing tomato: developing fruit count-based damage thresholds for IPM decision-making. *Crop Protection*.22 : 521-532

Trebeau Metty (2010). Évaluation de l'impact d'une bordure de maïs sur les populations d'*Helicoverpa zea* et de *Bemisia tabaci* sur une culture de tomate

Zalom F.G., Wilson L.T. and Smith R. (1983). Oviposition pattern by several Lepidopterus pest on processing tomatoes in California. *Environnemental Entomology*, Vol12 n°4, 1133-1137.

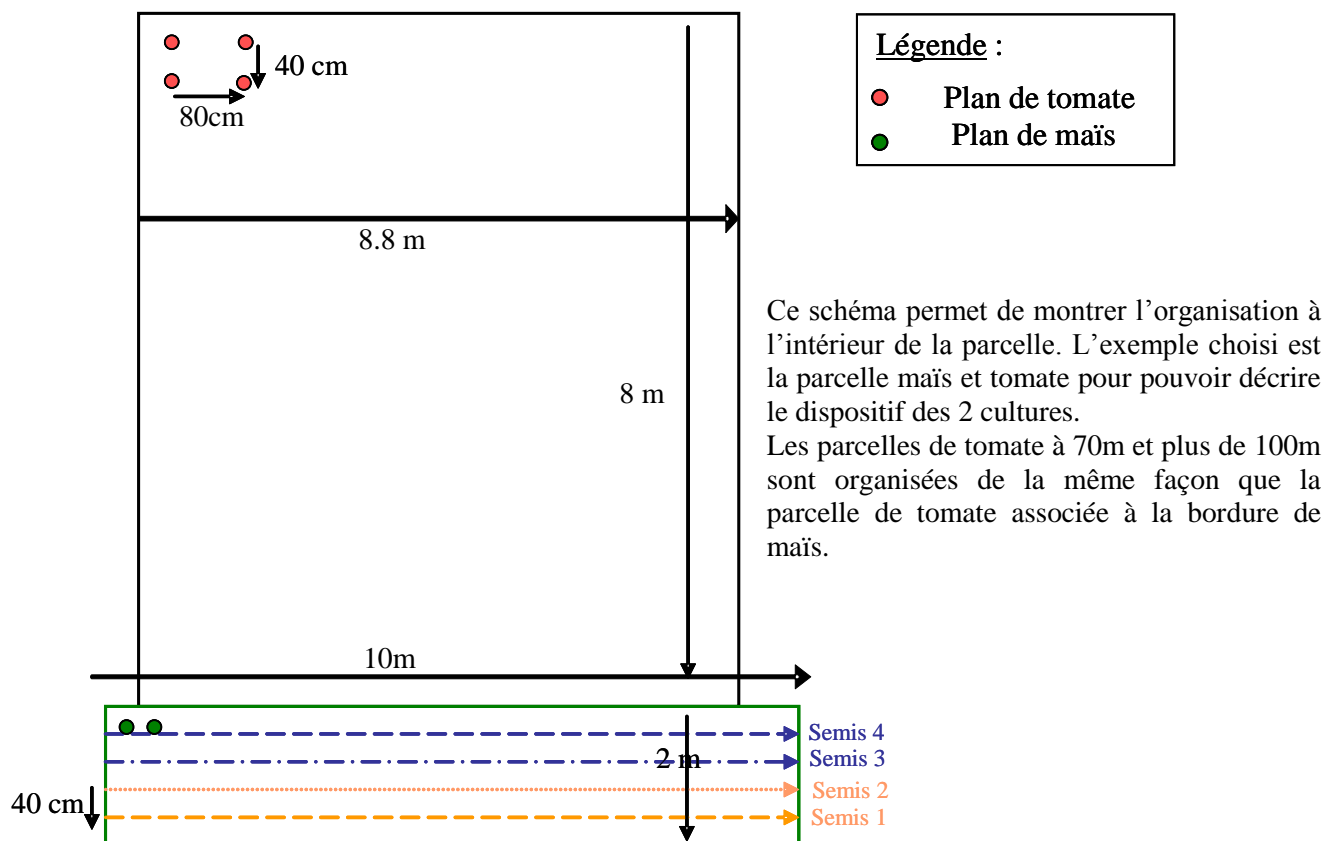
Zehnder G. W., Sikora E. J. and Goodman W. R.(1995). Treatment decisions based on egg scouting for tomato fruitworm, *Helicoverpa zea* (Boddie), reduce insecticide use in tomato. *Crop Protection* 1995 Volume 14 Number 8 683-687.

Annexes

Date	Parcelle	Action	Remarques
	1+2+3	Labour	
19/01/2011	1	Semis 1ere ligne Maïs	
26/01/2011	1	Semis 2ème ligne maïs	
01/02/2011	1+2+3	2ème labour	
02/02/2011	1	Re-semis 2ème ligne maïs en continue	1er semis mangé par les fourmis
		Recourage ligne 1 maïs	
03/02/2011	1	traitement contre les fourmis ligne 2 maïs	
09/02/2011	1	Engrais de couverture ligne 1 maïs, pose appât rats	
		Semis ligne 3 maïs en continue	
10/02/2011	1	Entretient autour des parcelles	
16/02/2011	1	Semis ligne 4 maïs en continue	
		recourage ligne 2 maïs	
21/02/2011	1	recourage ligne 3 maïs	
23/03/2011	1	engrais de couverture L1 L2maïs	
25/02/2011	1	recourage ligne 4 maïs	
04/03/2011	1	engrais de couverture L3 L4 maïs	
	serre	1er semis tomate	
14/03/2011	1	engrais de couverture L1 L2 L3 L4 maïs	
18/03/2011	serre	requiquage tomate dans pots	
	1+2+3	engrais de fonds	
23/03/2011	serre	2eme semis tomate	
22/03/2011	3	Girobroyeur parcelle adjacente	
24/03/2011	1+2+3	1ere plantation tomate	
	1	desherbage maïs	
31/03/2011	1+2+3	recourage parcelle tomate	
05/04/2011	serre	repiquage tomate en alvéole	
06/04/2011	1+2+3	engrais sur tomate et maïs	
12/04/2011	1	Arrachage 1er ligne maïs	
12/04/2011	1+2+3	Engrais de fond tomate	
14/04/2011	1+2+3	2ème plantation tomate	
14/04/2011	1+3	sarclage sur ligne de 1er plantation	
19/04/2011	1+2+3	Desherbage tomate	inefficace du aux fortes pluies
27/04/2011	1+2+3	recourage parcelle de tomate	
27/04/2011	1+2+3	Engrais de couverture tomate	
03/05/2011	1	Arrachage 2ème ligne maïs	
09/05/2011	1	Arrachage ligne 3 et 4 maïs	
30/05/2011		Fin de l'essai	

Annexe A : Calendrier des travaux

Annexe B : zoom d'une organisation parcellaire (exemple parcelle adjacente à la bordure)



	Df	DevRes	Df res	Dev	P(> Chi)	
NULL	93	105.878				
popM	1	6.8304	92	99.048	0.008962	**
St_epis	1	19.5419	91	79.506	9.842e-06	***
popM:St_epis	1	27.0420	90	52.464	1.991e-07	***

Annexe C : Analyse de variance du GLM $\ln(\text{nombre d'individu}+1)$ en fonction de la population mâle et du stade de l'épis selon la loi de poisson

	Df	DevREs	DfRes	Dev	P(> Chi)	
NULL	627	664.44				
Parcelle	1	12.2619	626	652.18	0.0004623	***
Présence/absence bouquet fleuris	1	13.1157	625	639.06	0.0002928	***
Parcelle*bouquet fleuris	1	0.1464	624	638.92	0.7020451	

Annexe D : Analyse de variance du modèle linéaire généralisé sur le nombre d'œufs par plant de tomate expliqué en fonction de la parcelle, et de la présence/absence de bouquet floraux sur le plant selon loi de poisson

	Estimate	Std.Error	zvalue	Pr(> z)	
(Intercept)	-1.79354	0.25936	-6.915	4.67e-12	***
Parcelle	0.30006	0.11193	2.681	0.00735	**
Présence/absence bouquet fleuris	0.34423	0.37409	0.920	0.35749	
Parcelle*bouquet fleuris	0.06525	0.17045	0.383	0.70186	

Annexe E : Summary du modèle linéaire généralisé sur le nombre d'œufs par plant de tomate expliqué en fonction de la parcelle, et de la présence/absence de bouquet floraux sur le plant selon loi de poisson.

	Df	DevRes	DfRes	Dev	P(> Chi)	
NULL	460	497.40				
Période	1	9.32	459	488.08	0.002267	**

Annexe F : L'analyse de variance sur le modèle linéaire généralisé du nombre d'œufs par plant de la parcelle 1 expliqué en fonction de la période (pendant/après bordure) selon la loi de poisson.

	Df	Dev Res	DfRes	Dev	P(> Chi)	
NULL	278	313.13				
plantation	1	9.5034	277	303.63	0.002051	**

Annexe G : L'analyse de variance sur le modèle linéaire généralisé du nombre d'œufs par plant de la parcelle 1 expliqué en fonction de la plantation (age des plants de tomate) selon la loi de poisson.